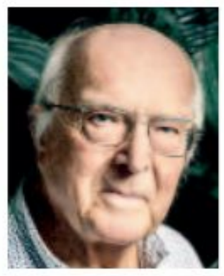
LES INDISPENSABLES DE SCIENCES ET AVENIR - NUMÉRO SPÉCIAL 201 AVRIL/JUIN 2020 - LA VIE SECRÈTE DE LA FORÊT

NUMÉRO SPÉCIAL 201 AVRIL/JUIN 2020 - ALLEMAGNE : 7.50 € / AUTRICHE : 5.90 € / BELGIQUE : 5.70 € / CANADA : 8.99 $CAN / ESPAGNE : 5.80 € / GRÈCE : 5.80 € / ITALIE : 5.80 € / LUXEMBOURG : 5.70 € / MAROC : 59.00 MAD / TOM SURFACE : 760 XPF / TOM AVION : 1500 XPF / PORTUGAL : 5.80 € / SUISSE : 8.80 CHF / TUNISIE : 8.50 TND / DOM – RÉUNION 5.70€

NUMÉRO SPÉCIAL

# SCIENCES ET AVENIR

LES INDISPENSABLES



**FRANCIS HALLÉ, botaniste**
**PETER WOHLLEBEN, forestier**

## « Notre alliée contre le changement climatique »

## LA VIE SECRÈTE DE LA FORÊT

Un écosystème de 400 millions d'années

Amazonie : le pari de la reforestation

Les arbres qui soignent

Fées, lutins, trolls, esprits des bois…

Fontainebleau inconnue

J. FAURE/LEEXTRA/LEEMAGE ; E. VAZZOLER / HANS LUCAS ; GETTY IMAGES

M 02597 - 201 - F: 5,50 €- RD

mgen

GROUPE VYV

MA SANTÉ, C'EST SÉRIEUX.

# J'AI CHOISI MGEN

## MUTUELLE SANTÉ - PRÉVOYANCE

Martin Fourcade et 4 millions de personnes ont choisi MGEN pour ses valeurs solidaires, son authenticité mutualiste, l'accès aux soins de qualité et sa conception innovante de la protection qui intègre la prévoyance.

www.antigel.agency - 01410 - 09/19 - © Hervé THOUROUDE - Ce document est non contractuel

**MARTIN FOURCADE**
CHAMPION DU MONDE &
CHAMPION OLYMPIQUE
DE BIATHLON

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, n°775 685 399, MGEN Vie, n°441 922 002, MGEN Filia, n°440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du code de la Mutualité - MGEN Action sanitaire et sociale, n°441 921 913, MGEN Centres de santé, n°477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du code de la Mutualité.

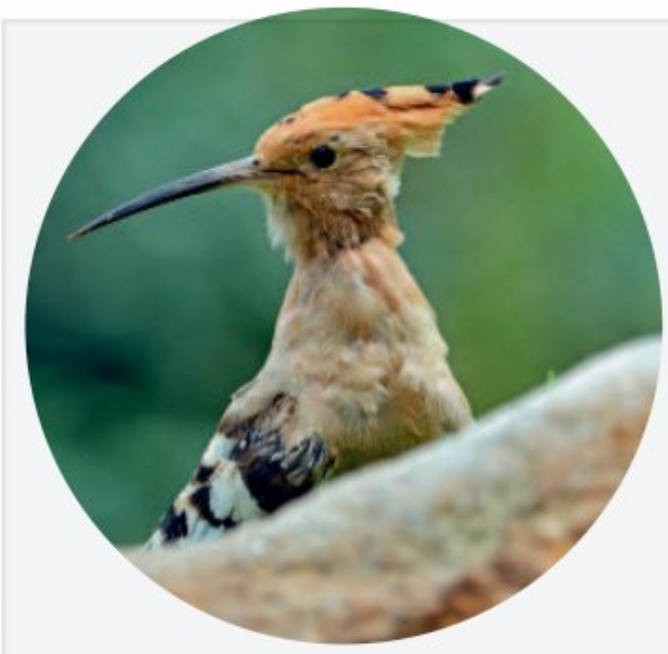
# Sommaire

COLLECTION DAGLI ORTI / MUSÉE DE LA TAPISSERIE DE BAYEUX GIANNI DAGLI ORTI / AURIMAGES

**La France, de la Gaule chevelue à l'usine à bois** P. 44

GUY EDWARDES / 2020VISION / NATUREPL

**Le climatiseur planétaire** P. 62



LUIS CASIANO / NATURAGENCY

**Balade naturaliste à Fontainebleau** P. 34



NATIONAL GEOGRAPHIC MAGE COLLECTION

**Les forêts à la conquête de la Terre** P. 16



MATTHEW ABBOTT/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

**Mégafeux, à qui le tour ?** P. 70


5 **Édito**

**6 RENCONTRES**

**Francis Hallé et Peter Wohlleben**
« Notre meilleure alliée face au changement climatique »

**REPÈRES**

11 L'arbre, être vivant

12 Un territoire en partage

**14 AUX ORIGINES**

16 Les forêts à la conquête de la Terre

19 **INTERVIEW Bogdan Jaroszewicz**
« Il n'y a plus de forêt totalement vierge »

20 Comment la forêt nous a faits

23 **INTERVIEW Jacques Tassin**
« Un sens aigu de la collaboration dont nous pourrions nous inspirer »

**24 DANS LA FORÊT FRANÇAISE**

26 Une autre sylviculture est possible !

33 **INTERVIEW Bruno Borde**
« Tout a été fait pour une exploitation mécanisée »

34 Balade naturaliste à Fontainebleau

38 Quand les villes se mettent au vert

**42 DE L'HISTOIRE À LA LÉGENDE**

44 La France, de la Gaule chevelue à l'usine à bois

49 Tronçais, deux fois ressuscitée

50 L'inquiétant royaume du merveilleux

52 Brocéliande, cœur du monde arthurien

55 **INTERVIEW Jean-Baptiste Vidalou**
« Un refuge qui permet de faire sécession »

**56 PORTFOLIO**
Traquenards, farniente et prédation

**60 UN ÉCOSYSTÈME EN DANGER**

62 Le climatiseur planétaire

66 Séchées sur pied

70 Mégafeux, à qui le tour ?

74 **REPORTAGE**
Reforester l'Amazonie, le pari fou du Pérou

78 Pharmacopée : quand la science valide les plantes

80 Les arbres qui soignent

**82 LIVRES**

VIVA TECHNOLOGY

11-13 JUIN PARIS

# L'ÉVÉNEMENT START-UP ET TECH N°1 EN EUROPE

## DONNONS DU SENS À L'INNOVATION

**"VIVATECH EST UN VÉRITABLE HUB POUR RENCONTRER DES EXPERTS ET PARTENAIRES, ET DÉCOUVRIR LES IDÉES QUI FERONT LE MONDE DE DEMAIN. "**

**Young Sohn** - Président & Directeur de la Stratégie - **SAMSUNG ELECTRONICS**
Président du Conseil d'Administration - **HARMAN**

**"C'EST L'OPPORTUNITÉ DE PARTAGER SON EXPÉRIENCE AVEC LES PLUS GRANDS LEADERS DE LA TECH."**

**Thomas Plantenga** - CEO - **VINTED**, *nouvelle licorne européenne*

5EME EDITION

NUMÉRO SPÉCIAL
SCIENCES ET AVENIR

41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.00.
Fax : 01.55.35.56.04.
redaction@sciencesetavenir.fr

**Directrice de la rédaction**
Dominique LEGLU 56.02
**Rédaction en chef** Vincent REA 56.35
avec Florence LEROY 56.36
**Directrice artistique** Thalia STANLEY 56.21
**Photo-iconographie** Andreina DE BEI
(rédactrice en chef adjointe) 56.31
Isabelle TIRANT 56.32
**Documentation** Astrid SAINT AUGUSTE 56.48
**Collaborateurs**
Loïc CHAUVEAU, Sara de LACERDA, Rachel MULOT
**Ont collaboré à ce numéro**
Jacques-Olivier BARUCH, Mehdi BENYEZZAR, Alice BOMBOY, Laureen BOUYSSOU, Sylvie BRIET, Cécile CAZENAVE, François FOLLIET, Florence GENDRE, Nicolas GUTIERREZ C., Jean-François HAÏT, Morgane KERGOAT, Vincent MOREL, Olivier-Marc NADEL, Éliane PATRIARCA, Marie-Laure THÉODULE
**Pour joindre la rédaction**
01 55 35 56 00 – redaction@sciencesetavenir.fr
**Courrier des lecteurs**
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
**Informatique** Daniel de la REBERDIÈRE 56.06
**Comptabilité** Mélanie BENKHEDIMI 56.14
**Assistante de direction** Valérie PELLETIER 56.01

**Abonnements et anciens numéros : 01.55.56.71.48**
4, rue de Mouchy – 60438 Noailles Cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

**Publicité** Médiaobs
44 rue Notre-Dame-des Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70 / Fax : 01.44.88.97.79
Pour joindre votre correspondant par téléphone, composez le 01.44.88 suivi des 4 chiffres qui figurent à la suite de son nom; pour adresser un email à votre correspondant, l'initiale de son prénom puis son nom suivi de @mediaobs.com.
**Directrice générale** Corinne ROUGÉ 93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIES 93.70
**Directeur de publicité**
Sylvain MORTREUIL 97.75
**Responsable Web** Romain COUPRIE 89.25
**Assistante commerciale** Séverine LECLERC 39.75
**Exécution** Nicolas NIRO 89.26
**Administration des ventes** Caroline HAHN 97.58
**Ventes**
**Directeur commercial**
Jean-Claude ROSSIGNOL 01.44.88.35.40
**Directeur des ventes** Valéry SOURIEAU
**Directeur des abonnements** Luc BONARDI
01.55.35.56.62 assisté de Lina QUACH 56.63
**Relations extérieures**
France ROQUE 01.44.88.35.79
**Sciences et Avenir SARL**
**Gérance :** Claude PERDRIEL
**Directeur de la publication :** Claude PERDRIEL
Les abonnements et réabonnements doivent être adressés à Sciences et Avenir, Service abonnements, CS 90006 - 59718 Lille Cedex 9. Tél. : 03.28.38.47.69. Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-série) : 48 €. Tarifs pour les pays étrangers sur demande.
**Multimédia :** Sciences et Avenir, 41 bis avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél : 01.55.35.56.00.
Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement.
Copyright Sciences et Avenir.
Commission paritaire n° 0620K79712.
Distribué par Presstalis.
**Photogravure :** Éric BACQUET
**Fabrication** : Christophe PERRUSSON

PEFC 10-31-1557
Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
pefc-france.org

Origine du papier : Allemagne
Taux de fibres recyclées : 0%
Eutrophisation : PTot = 0,016 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Rotofrance Impression, certifié PEFC

ACPM OJD

CHIEN LEE/NATUREPL

**Dans le forêt de Nimbokrang,** Nouvelle-Guinée, Indonésie.

# Le peuple vert

« *La forêt ? Fichez-lui la paix !* » Dans l'entretien qui ouvre ce numéro, c'est au laisser-faire que nous appelle le biologiste Francis Hallé, lorsque la question lui est posée de la meilleure manière de prendre soin de la forêt. Et le forestier Peter Wohlleben de lancer la même injonction : « *N'agissons pas à la place de la nature. Elle se débrouille très bien toute seule depuis 400 millions d'années !* »

En ce début de printemps, le promeneur sylvestre est en effet désemparé, entre délectation de retrouver le vert tendre des nouvelles pousses et appréhension de la catastrophe qui s'annonce, visible jusque dans les forêts de France. Dans les Vosges ou en Bourgogne, l'été dernier, des milliers d'hectares d'épicéas sont morts, désséchés par les canicules récurrentes. Plus loin de nous, cet hiver, les images de pompiers australiens désarmés par la violence de feux dantesques ont fait trembler le monde entier.

Climatiseur en chef, la forêt éponge les émissions de carbone, émet de l'oxygène, procure fraîcheur et humidité. En un mot, elle rend la Terre vivable. Dans ce numéro, des chercheurs exposent par quels mécanismes insoupçonnés, comme ces véritables rivières volantes émises par l'Amazonie qui arrosent littéralement une grande partie de l'Amérique du Sud. Mais si, dans les vingt ans à venir, elle n'émettait pas davantage de $CO_2$ qu'elle n'en absorbe, dans un emballement climatique aux conséquences inconcevables ?

Contre ce scénario apocalyptique, nous n'avons pas le choix, disent en chœur les scientifiques : il faut réduire drastiquement, et vite, les émissions de gaz à effet de serre. Et préserver à tout prix les forêts tropicales, tout en replantant. Dans ce combat, la volonté politique s'avère déterminante. Voyez le Brésil : la déforestation y a décru de 80 % entre 2004 et 2012… avant le retour de bâton du président Bolsonaro.

Pourtant, ne cédons pas au pessimisme, exhorte Peter Wohlleben, il n'est pas trop tard. Mini-forêts urbaines à croissance rapide, rachat de parcelles par des associations de citoyens... Des solutions s'inventent partout. Et contre la monoculture intensive qui laisse les arbres à la merci du moindre pathogène, appauvrit la faune et les sols, une gestion différente de la forêt se met en place. En France, notre enquête le montre, des pratiques plus douces et durables se diffusent, encouragées par une nouvelle génération de forestiers.

Dans les récits de l'Antiquité ou les fables médiévales, la *silva*, lieu du sauvage, transforme qui la traverse : le héros en sort plus accompli. À l'heure où l'humain en devient le prédateur, la plus haute marque de la civilisation serait, peut-être, de la réensauvager, renouant avec elle une alliance vieille de millions d'années. Et de nous inspirer de l'arbre, de sa patience, de son adaptation sans faille au monde comme il va.

« *Allez voir les forêts*, conclut Francis Hallé, *avec sympathie, sans leur faire de tort.* » En adoptant, pour les découvrir, le tempo lent de l'arbre, le tempo des enfants curieux.

**FLORENCE LEROY**

Rencontres

Peter Wohlleben

LOUISE ALLAVOINE/HANS LUCAS

**PETER WOHLLEBEN,** forestier
**FRANCIS HALLÉ,** botaniste

# « Notre meilleure alliée face au changement climatique »

La forêt n'est pas qu'une addition d'arbres ! C'est une merveille d'esthétique et de biodiversité, indispensable à l'équilibre de la planète et vitale pour l'humanité… Encore faut-il en prendre soin, rappellent ces deux passionnés.

Pour des raisons liées à l'agenda de nos deux interlocuteurs, nous avons dû les interviewer à quelques jours d'intervalle.

**Après toutes ces années passées en forêt, y a-t-il quelque chose qui vous émerveille encore ?**

**Peter Wohlleben.** Je suis toujours surpris par ce que nous observons dans le domaine du petit. Il y a peu, une chercheuse de l'université de Coblence a découvert une nouvelle espèce de lichen. Si minuscule qu'en tant que forestier, je ne l'aurais jamais vue. Lorsqu'on coupe un arbre, on détruit ce genre de peuplement, et l'on peut ainsi exterminer une espèce sans s'en apercevoir. J'apprends donc à être chaque jour plus prudent.

**Francis Hallé.** Pour moi, le summum de l'enchantement, c'est la canopée des forêts tropicales. Je ne suis pas certain qu'elle abrite une plus grande biodiversité que le sol, mais sur le plan esthétique, elle sort gagnante ! Au pied des arbres, c'est très fermé, très sombre, et donc il y a peu de plantes, et moins d'animaux. La canopée ne connaît aucun de ces facteurs limitants.

ÉDOUARD CAUPEIL / PASCO

**En Europe, le couvert forestier progresse, en France comme en Allemagne… Doit-on s'en réjouir ?**

**P.W.** Malheureusement, dans la plupart des cas, on parle là de plantations… des arbres destinés à être abattus. Il s'agit de cultures, plus proches du champ de maïs que d'un écosystème. La véritable forêt recule.

**F.H.** Effectivement, les chiffres mondiaux sont biaisés parce qu'on y intègre les plantations. Une jolie manière d'occulter les problèmes. Le responsable, c'est la FAO – l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation –, qui établit que le solde est positif… et qu'il n'y a pas de déforestation mondiale. Confier la forêt à un organisme qui s'occupe d'agriculture et d'alimentation, c'est courir à l'échec ! Il faudrait mettre en place une structure onusienne chargée exclusivement des forêts.

**Mais finalement, une forêt, qu'est-ce que c'est ?**

**P.W.** Selon moi, c'est tout simplement un écosystème constitué d'arbres et sur lequel l'humain n'intervient pas. En allemand, nous faisons la distinction entre *Wald,* la forêt au sens naturel, et *Forst,* la forêt exploitée. Avec la même différence qu'entre un sanglier et dix mille porcs dans un élevage… Par ailleurs, n'oublions pas que la forêt ne s'arrête pas aux arbres et aux animaux visibles mais englobe toute une biodiversité – insectes, champignons, bactéries, micro-organismes… – dont les scientifiques estiment qu'on en ignore encore les trois quarts.

**F.H.** Je suis content d'entendre que les Allemands font cette distinction ! Il faut absolument cesser de confondre forêt et plantation. La forêt est un ensemble d'arbres qui a poussé spontanément. L'homme y a sa place, il peut l'exploiter – c'est vieux comme le monde –, mais il n'en est pas le fondateur.

**Certains affirment qu'aucun mètre carré de la planète n'échappe à l'influence humaine. Et qu'il n'existe plus de forêt primaire…**

**F.H.** Ce point de vue est exagérément pessimiste. Des forêts primaires, il en reste, bien sûr. Je pense au plateau des Guyanes et au piémont andin, autour du bassin amazonien. Naturellement, elles représentent aux yeux de certains une telle source de profits qu'elles sont très menacées.

**P.W.** La notion de forêt primaire ne nous est pas d'un grand secours. Les études l'ont montré, des centaines d'années ne suffisent pas pour recréer un écosystème forestier qui fonctionne. Alors que faire ? D'une part, conserver la forêt ancienne. Et dans le même temps, en planter de nouvelles… qui ne seront pas « originelles », mais c'est mieux que rien.

**Vous-même, Francis Hallé, vous souhaitez créer une forêt primaire en Europe de l'Ouest. N'est-ce pas paradoxal, d'après votre définition ?**

**F.H.** Ce n'est pas une création, attendez ! Il n'est pas question de planter quoi que ce soit. Il s'agit de ●●●

## Peter Wohlleben

Forestier depuis près de trente ans, il est responsable d'une forêt dans le massif de l'Eifel (Allemagne), qu'il gère selon des principes écologiques. En 2016, il y a fondé la Waldakademie, dont l'objectif est de former le public à la biodiversité forestière et à la gestion durable des forêts.

**Derniers ouvrages :**
*Le Réseau secret de la nature*, Les Arènes, 2019

*La Vie au cœur de la forêt*, Trédaniel, 2017

*La Vie secrète des arbres*, Les Arènes, 2017

## Francis Hallé

Botaniste et biologiste, spécialiste de l'écologie des forêts tropicales humides et de l'architecture des arbres, il est le co-initiateur de l'expédition Radeau des cimes, destinée à étudier la canopée. Il plaide aujourd'hui pour la création d'une forêt primaire en Europe.

**Parmi ses ouvrages**, illustrés par des dessins issus de ses carnets de croquis :

*Mais d'où viennent les plantes ?* Actes Sud, 2019

*Atlas de botanique poétique*, Arthaud, 2016

*Plaidoyer pour la forêt tropicale*, Actes Sud, 2014

*Plaidoyer pour l'arbre*, Actes Sud, 2005

●●● réunir les conditions pour qu'un massif se forme lui-même. Ce que les forestiers appellent la libre évolution. Cela requiert des surfaces importantes pouvant accueillir de grands animaux. Et ne peut se faire que sur sept ou huit siècles dans nos régions où la végétation ne pousse que cinq mois par an, contrairement aux zones tropicales où elle croît toute l'année.

**P.W.** Je partage tout à fait le point de vue de Francis Hallé, et nous devons commencer maintenant. C'est important : chaque arbre compte.

**Que vous inspire cet aphorisme sylvestre, entendu récemment : il n'y a rien de plus vivant qu'un arbre mort ?**

**F.H.** Il est tout à fait exact que le bois effondré au sol, attaqué par les champignons et les bactéries, devient disponible pour une faune énorme, ce qui crée un point de concentration d'espèces animales. D'abord des insectes, mais aussi leurs prédateurs… Et les prédateurs de leurs prédateurs, ce qui finit par faire du monde !

**P.W.** Il y a une vingtaine d'années, dans les vieilles forêts de hêtres de mon district, j'ai découvert une souche maintenue en vie depuis sans doute plusieurs siècles par les arbres alentour, qui continuaient de lui transmettre des substances nutritives. Cela a été pour moi un moment fondateur : j'ai pris conscience que les arbres ne sont pas en concurrence, bien au contraire. Ce processus a été confirmé l'an passé par une découverte du même genre, en Nouvelle-Zélande. Les racines de la souche sont intégrées à un vaste réseau souterrain. C'est ce qu'on a appelé le Wood Wide Web.

**La forêt est donc un incroyable théâtre d'interactions, de solidarités, de communication… Peut-on parler de société ?**

**F.H.** Ce serait pécher par anthropomorphisme ! Mais effectivement, la forêt n'est pas le règne de la loi du plus fort, bien au contraire. Darwin n'avait pas tort en voyant la compétition et la sélection naturelle… Mais ce n'est qu'une moitié de la réalité. On sait maintenant que la collaboration et la solidarité comptent tout autant.

**P.W.** Je crois que la manière dont nous considérons la nature est en effet liée à ce malentendu originel sur l'évolution. Ce n'est pas le plus fort qui survit, mais le mieux adapté. La forêt est une société où l'on ne joue pas les uns contre les autres. Aucune espèce n'essaie d'en exterminer une deuxième. Et au sein d'une même essence – hêtres, chênes, douglas, etc. –, il est établi que les arbres se soutiennent mutuellement. Une étude intéressante montre qu'ils se transmettent une solution de sucre par leurs racines. Une autre, qu'ils émettent des signaux d'alerte lorsqu'ils sont, par exemple, attaqués par des insectes prédateurs…

**Comment distinguer une forêt malade d'un massif en bonne santé ?**

**F.H.** Mais je n'ai jamais vu de forêt malade ! Comment voulez-vous qu'un pathogène s'attaque à un millier d'espèces à la fois ? Non, les forêts sont très résilientes. En revanche, j'ai vu des plantations malades. Voyez

ÉDOUARD CAUPEIL / PASCO

> **« Pour réinstaller une forêt primaire, il n'est pas question de planter quoi que ce soit ! Il s'agit de réunir les conditions pour qu'un massif se forme lui-même »**

l'exemple des ravages causés par le scolyte dans les exploitations d'épicéas. Des milliers d'hectares anéantis. La monoculture, c'est extrêmement risqué… Si un parasite s'installe, vous le comprenez bien, il a tout ce qu'il lui faut sans même avoir besoin de se déplacer. Mais ce n'est pas tout. Les plantations en monoculture sont aussi vulnérables au feu et au vent. Lors de la tempête Martin, en décembre 1999, la plupart des arbres tombés à cause de la tempête l'ont été dans la plantation de pins des Landes… qu'on persiste à appeler la forêt des Landes.

**P.W.** J'ai vu effectivement l'été dernier, en France comme en Allemagne, des plantations de sapins et d'épicéas à l'agonie… Alors qu'ici même, dans les anciennes forêts de hêtres qui nous entourent, où aucun arbre n'est abattu, les résineux sont en bonne santé. Ils ont parfaitement résisté aux deux dernières années qui ont pourtant été très chaudes. Pourquoi ce dépérissement des plantations ? Parce qu'elles se composent d'arbres beaucoup plus jeunes, qui retiennent davantage de pluie dans leur cime – un tiers de ces

pluies n'atteint pas le sol – et qui « transpirent » moins. Un grand hêtre adulte évapore jusqu'à 500 litres d'eau par jour. Les résineux en sont incapables. Et c'est pourtant ce qui rafraîchit la forêt : la température de nos vieilles forêts est inférieure de 8° – en moyenne – à celle des plantations d'épicéas.

**Que pensez-vous de la création de forêts urbaines ? L'expression n'est-elle pas une contradiction en soi ?**

**P.W.** Pour un arbre, la ville n'est certes pas le meilleur des environnements. Un peu comme un zoo pour les animaux de la savane. Mais si le zoo est bien géré, alors pourquoi pas ? À cet égard, les *tiny forests* des Pays-Bas *[des terrains boisés de la taille d'un court de tennis, NDLR]* me semblent intéressantes.

**F.H.** C'est une très bonne initiative ! N'oublions pas que la forêt est notre meilleure alliée contre le réchauffement climatique. Dans une forêt urbaine, l'arbre se portera beaucoup mieux que le long d'une rue, avec les façades d'un côté, les camions de l'autre… et les pieds dans la tuyauterie ! J'ai vu les mini-forêts du botaniste japonais Miyawaki, c'est très bien… Il n'emploie que des espèces locales.

**Locales… Cela signifie-t-il encore quelque chose alors que les espèces semblent voyager depuis toujours ?**

**F.H.** Non, vous avez raison. D'ailleurs, quand on me parle d'espèces locales, au fond, ça me fait bien rire parce qu'elles sont toutes venues d'ailleurs. Seulement, ça s'est passé il y a suffisamment longtemps pour qu'on ait perdu de vue leur caractère exotique. La mondialisation des espèces est bien antérieure à l'homme. Les premières forêts remontent au milieu du dévonien, c'est-à-dire *grosso modo* à 400 millions d'années. Les arbres n'y ressemblaient pas du tout à ceux qu'on a en ce moment ! C'étaient plutôt de formidables fougères, des prêles, des espèces tropicales, extrêmement grandes. On en a une idée par les fossiles. Les fougères de nos forêts sont les héritières lointaines de cette végétation-là…

**L'hiver dernier, pendant des mois, l'Australie a été ravagée par des mégafeux…**

**F.H.** Cela fait un peu froid dans le dos, si j'ose dire, mais ce qui s'est passé en Australie, c'est ce qui risque de se produire d'ici une dizaine d'années dans le sud de l'Europe, si rien n'est fait pour lutter contre le réchauffement. Il ne s'agit pas seulement d'incendies plus importants, mais d'une catégorie nouvelle de feux, que l'être humain se montre incapable de maîtriser. Ils ne s'arrêtent que lorsqu'il n'y a plus rien à brûler.

En Australie comme ailleurs, la régénération de la forêt dépendra de l'ampleur des dégâts et de la latitude. Dans la partie sud du pays, au climat proche de celui que nous avons à Montpellier, où j'habite, dix siècles seront nécessaires. Par contre, dans la partie nord, tropicale humide, les collègues australiens observent déjà des quantités de repousses sur des arbres brûlés.

**Au lieu de la sylviculture intensive qui prévaut actuellement, quelle serait la meilleure façon d'exploiter des arbres tout en préservant la forêt ?**

**F.H.** Il y a une solution radicale qui est de lui ficher la paix, tout simplement ! Le résultat ressemblera à une futaie jardinée : une vraie belle forêt, c'est-à-dire de très nombreuses espèces, et pour chaque espèce, de très nombreux âges différents… Mais il est souvent difficile de faire comprendre ça à des ingénieurs forestiers.

**P.W.** J'ai longtemps cru que la futaie jardinée était la meilleure solution. Mais il existe encore mieux : une expérimentation pratiquée depuis plus de vingt-cinq ans par la ville de Lübeck. Les responsables locaux ont décidé de laisser 10 % de la forêt en totale autonomie. Ils n'interviennent pas, et ne récolteront du bois qu'au bout de plusieurs décennies. Laissons faire la nature, elle se débrouille très bien depuis plus de trois cents millions d'années ! Des forestiers, il n'y en a que depuis trois cents ans. Et que voit-on ? Que la forêt qui n'est pas exploitée se porte mieux.

**Mais pour le bois de chauffage, qui connaît un retour en grâce, il faut bien exploiter ?**

**F.H.** Je suis un peu réservé sur ce mode de chauffage. Tant que le bois demeure du bois, il stocke efficacement le carbone. Si l'on coupe des arbres pour construire une maison, le $CO_2$ reste prisonnier : parfait. L'ennui, avec le chauffage au bois, c'est que vous relarguez tout le gaz carbonique dans l'atmosphère…

**P.W.** C'est une très mauvaise idée ! Plus de mille scientifiques ont demandé à l'Union européenne d'arrêter d'urgence la promotion du chauffage au bois, qui est pire que le charbon pour le climat. Pourquoi scier au bout de quatre-vingts ans des arbres qui peuvent vivre pendant plusieurs centaines d'années en stockant de grandes quantités de carbone ? En outre, dans une forêt, près de la moitié du carbone se trouve dans le sol. Lorsqu'on abat les arbres, le soleil y pénètre, la température augmente, et le carbone remonte… Sans compter que l'effet de refroidissement est également perdu. Il n'y a que le lobby de l'exploitation forestière pour affirmer que le bois est un matériau écologique !

**Sait-on si la forêt joue aussi un rôle sur notre organisme ?**

**P.W.** Il y a encore quelques années, les bains de forêt – le *shinrin yoku* des Japonais – relevaient d'une forme de croyance ésotérique. Depuis, on s'est aperçu que les phytoncides, ces molécules volatiles émises par les arbres – terpènes, limonènes, etc. –, ont un effet sur le système immunitaire et sur la tension artérielle. Et la Ludwig-Maxi- ●●●

***Corypha elata* Roxb.,** palmier du Sud-Est asiatique, dessin de Francis Hallé.

LOUISE ALLAVOINE / HANS LUCAS

> **Ces dernières années, on s'est aperçu que les molécules volatiles émises par les arbres ont un effet sur le système immunitaire et la tension artérielle**

●●● milians-Universität, à Munich, forme aujourd'hui des thérapeutes à la sylvothérapie.

**F.H.** À vrai dire, on n'a pas attendu les Japonais pour savoir qu'une balade en forêt fait du bien ! Ce qu'ils ont apporté, c'est une explication en physiologie humaine. Il suffit de marcher quelques heures, sans effort, sur une petite piste, pour ralentir le rythme cardiaque, diminuer le niveau des hormones de stress, et augmenter les défenses immunitaires. Un effet positif qui dure… un mois !

**Dans notre culture, la forêt a toujours suscité un mélange de fascination et de peur. Notre regard est-il en train de changer ?**

**F.H.** Il n'y a pas encore si longtemps, c'était le refuge des personnes en rupture de société. Pour beaucoup de nos contemporains, c'est un endroit dangereux. Une mauvaise image héritée de la colonisation romaine. À l'époque, c'était le domaine des Gaulois… Nous avons gardé cette idée que la forêt est, sinon dangereuse, du moins étrangère. Or cette altérité fait du bien. De plus en plus de gens le comprennent.

**P.W.** Il y a plus de deux mille ans, les Celtes considéraient la forêt comme sacrée. Puis nous nous en sommes éloignés. D'abord parce qu'au Moyen Âge et dans les siècles qui ont suivi, la forêt est apparue comme effrayante, à cause non pas des animaux, mais des humains qui s'y trouvaient. Ensuite du fait de l'essor du christianisme qui, ne l'oublions pas, est issu d'une région sans arbres. À cinq kilomètres de chez moi, il y a une colline qui était couverte d'arbres sacrés jusque vers l'an 600. Des missionnaires catholiques sont arrivés, les ont abattus et ont érigé une chapelle. C'est ce qu'ils ont fait partout : ils ont aliéné les humains des arbres pour construire des églises. Je dirais qu'aujourd'hui, nous renouons enfin avec nos racines.

**Que pensez-vous, justement, de cet engouement pour les forêts ?**

**P.W.** On dit souvent que c'est une sorte d'escapisme, une volonté de se soustraire à la réalité. Mais c'est tout le contraire ! Nous constatons que notre monde artificiel n'est pas viable. Et que notre véritable écosystème n'est pas celui que l'on croyait. Une ville ne peut se suffire à elle-même, elle ne peut que commercer ce que la nature produit. Si la nature meurt, la ville meurt aussi. Les gens le savent : si nous ne prenons pas soin de la nature, nous ne prenons pas soin de nous.

**F.H.** Je suis tout à fait d'accord. On assiste depuis une vingtaine d'années à un mouvement indiscutable et inattendu… La dégradation de notre environnement fait que nous avons tendance à nous rapprocher de ce qui a conservé les vertus de l'état sauvage.

**Mais comment prendre soin des forêts ?**

**P.W.** Par un certain nombre d'initiatives individuelles, sans attendre que les pouvoirs publics agissent. Comme acheter des parcelles pour en faire des réserves, et naturellement, changer notre comportement. C'est un paradoxe : la plupart des gens s'émeuvent de voir les incendies en Amazonie, mais ils achètent de la viande à bas prix au supermarché. Au Brésil, on déforeste, entre autres, pour nourrir des animaux européens… Les solutions sont assez simples. Le problème, c'est que nous ne voulons pas changer.

**F.H.** Selon moi, ce sont les associations et les groupements de propriétaires qui doivent s'emparer de ces questions. Mais avant toute chose, il faut changer notre regard sur les forêts. Aller les voir de près, sans leur faire de tort, les visiter avec sympathie, les considérer comme des sommets d'esthétique et de biodiversité.

**Et au niveau politique ?**

**P.W.** En janvier dernier, j'ai participé à un sommet sur la forêt devant la Commission européenne. Le propos était de définir la politique forestière pour les dix prochaines années. J'ai demandé à ce que soit prélevée une taxe carbone sur le bois, comme il en existe une sur le charbon. Avec ce système, les sylviculteurs en abattraient beaucoup moins. Et les propriétaires qui ne coupent pas leurs arbres devraient être récompensés, car ils stockent du $CO_2$. On devrait gagner plus d'argent en stockant du $CO_2$ qu'en vendant du bois.

Certes, la situation des forêts semble se dégrader un peu plus chaque jour, et les lanceurs d'alerte ont raison de nous interpeller. Mais nous n'en sommes pas encore au moment où l'on peut dire : à partir de maintenant, c'est trop tard. Nous devons rester optimistes.

**PROPOS RECUEILLIS PAR FLORENCE LEROY ET VINCENT REA**
**TRADUCTION DE L'ALLEMAND : SARA DE LACERDA**

**À paraître le 8 avril**
Peter Wohlleben, *L'Homme et la nature*, Les Arènes

# L'arbre, être vivant

Physiologiquement, l'arbre n'est pas très différent de nous : il doit en effet satisfaire aux mêmes nécessités biologiques. Mais ne pouvant se déplacer, il a développé des stratégies très différentes.

**Illustrations : Florence Gendre**

**Il grandit**. Au cœur des bourgeons, une petite tige courte, le méristème, correspond à une zone de cellules qui se divisent activement au printemps pour fabriquer les feuilles et les nouvelles pousses.

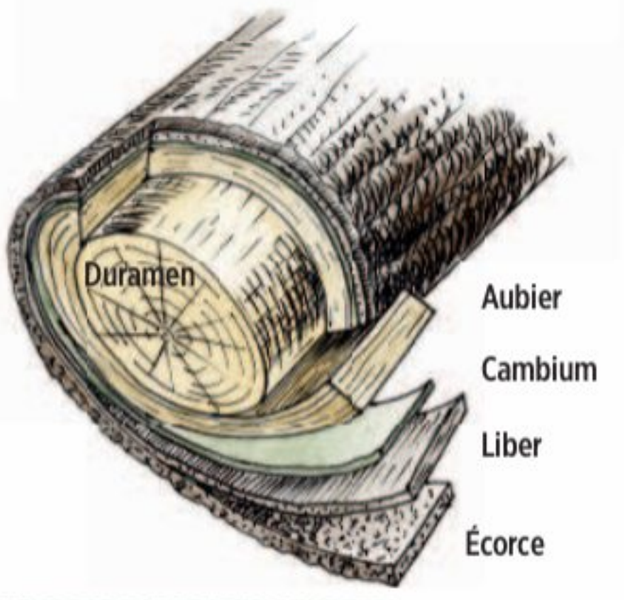
**Il transpire.** Une partie de l'eau qu'il absorbe par les racines ou prélève dans l'atmosphère est utilisée pour les réactions du métabolisme, une autre rejetée dans l'air sous forme de vapeur d'eau.

**Il respire.** À partir d'oxygène et des glucides qu'il fabrique lors de la photosynthèse, il libère de l'eau, du $CO_2$ et de l'énergie. C'est le processus inverse de la photosynthèse.

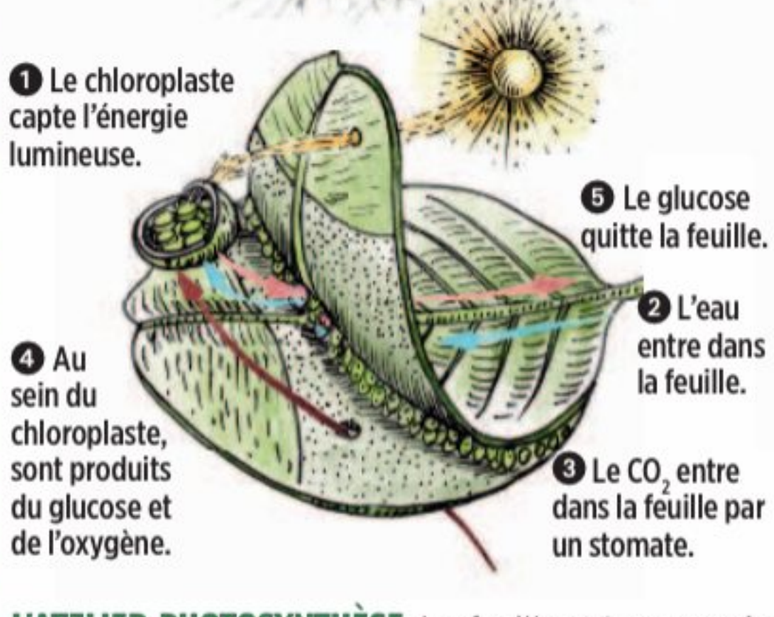
**Il se nourrit**. Et cela, grâce à deux processus différents : par les racines, il absorbe la sève brute ; au niveau des feuilles, la photosynthèse produit un liquide visqueux et sucré, la sève élaborée, qu'il utilise pour son métabolisme ou stocke dans le bois et les racines.

**Il se reproduit.** Ses organes sexuels, regroupés dans les fleurs, produisent des graines dispersées par le vent ou les pollinisateurs.

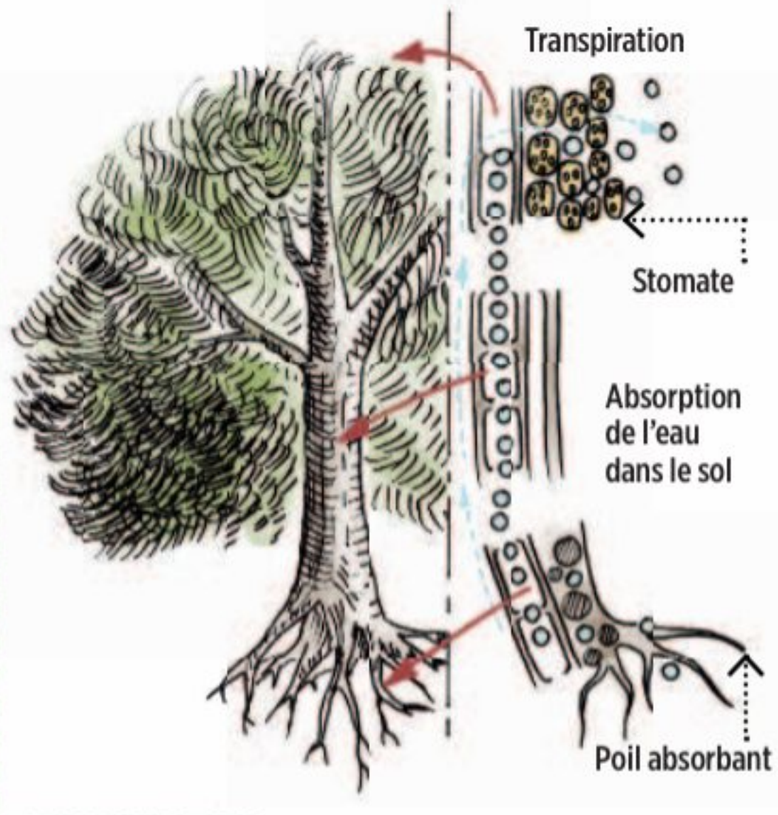
**Il croît en épaisseur**. Le cambium, couche de cellules indifférenciées, produit, vers l'intérieur des branches et du tronc, du bois, vers l'extérieur, du liber, où circule la sève élaborée.




**LE BOIS S'AJOUTE AU BOIS** Chaque année, une couche de bois s'ajoute aux précédentes à partir du cambium. Les couches les plus anciennes, ou duramen, sont au centre. L'aubier est le seul bois vivant.




**L'ATELIER PHOTOSYNTHÈSE** La feuille est composée de couches de cellules prises en sandwich entre deux peaux, l'épiderme. Au sein de la cellule se trouve le chloroplaste, qui contient la chlorophylle et où se réalise la photosynthèse.




**TRANSPIRATION** Les poils absorbants des racines pompent l'eau et les sels minéraux du sol. Cette sève brute circule dans des vaisseaux ligneux jusqu'aux stomates des feuilles, pores permettant les échanges gazeux avec l'air, avant de s'évaporer.

# Un territoire en partage

Sur la scène forestière cohabitent une multitude de protagonistes. En France, les rois de la diversité en forêt sont les insectes, avec environ 10000 espèces. Les plantes suivent avec 4000 espèces puis les arbres, avec seulement 136 essences. Tous ont un objectif commun : la survie !

## Des relations à la vie, à la mort

Qui dit forêt pense souvent arbres... en oubliant les animaux, dont elle est à la fois le lieu de vie et la nourriture. Un milieu complexe, à chaque fois particulier de par son climat et son relief. Dans les régions tempérées, la forêt comprend souvent quatre strates de végétation : arborescente, celle de la couronne des grands arbres ; arbustive – arbrisseaux et jeunes arbres ; herbacée, avec les fougères, graminées, fleurs ; et muscinale – mousses et champignons.

**1 Mangés, mangeurs.** Qui croque sera dévoré à son tour... C'est la notion de chaîne alimentaire. Les plantes, seuls organismes à savoir fabriquer leur nourriture, sont appelées producteurs. Elles constituent le repas des consommateurs primaires, ou herbivores, qui sont eux-mêmes dévorés par les consommateurs secondaires, les carnivores. Parfois, la chaîne s'étend jusqu'aux super-prédateurs, consommateurs de troisième voire quatrième ordre.

**Cette chaîne est ici représentée par des feuilles (a), dévorées par une chenille (b), dont la chair régale une mésange (c), oiseau dont est prédateur l'épervier (d), lui-même apprécié du faucon pèlerin (e). Une autre chaîne relie des baies (a), un mulot (b), une chouette (c) et un grand-duc (d).** Contre cette prédation, chaque

espèce a développé des moyens de défense : molécules odorantes ou répulsives, aiguilles, tanins… Quant aux décomposeurs, collemboles, champignons, vers de terre…, ils se nourrissent de matière organique morte comme les feuilles tombées, les cadavres ou les excréments, restituant leurs composés organiques à l'humus.

**❷ Rivalités.** L'accès aux ressources vitales, la compétition pour une femelle, comme ici entre deux cerfs, sont des facteurs de régulation du milieu.

**❸ Coopération.** Des espèces peuvent également entretenir des relations gagnant-gagnant : c'est le cas des champignons et des plantes, dont la plupart voient leur accès à la nourriture démultiplié par leur association souterraine, la mycorhize (ci-contre) : le champignon apporte des sels minéraux, la plante du sucre. Dans d'autres cas, les liens sont plus distendus : le lierre profite d'un tronc pour grimper, sans porter préjudice ni avantage à l'arbre.

**Dans l'ecto-mycorhize, type le plus courant, le champignon enveloppe de ses cellules, les hyphes, les racines les plus fines de l'arbre, formant un manchon. D'autres hyphes s'insinuent entre les cellules du végétal.**

**Léon Mathot,** *Connaître, comprendre et protéger la forêt,* CNPF, 2017

**Catherine Lenne,** *Dans la peau d'une plante,* Belin, 2014

# AUX ORIGINES

Les fossiles ont parlé : voilà près de 400 millions d'années que les arbres se sont lancés à la conquête de la Terre. Et c'est dans les forêts que des mammifères arboricoles, nos lointains ancêtres, ont acquis au fil du temps des particularités anatomiques adaptées à cet environnement… et qui nous caractérisent encore aujourd'hui, telle la bipédie.

**Tronc pétrifié,** probablement par une éruption volcanique, vu en coupe.

DIRK WIERSMA/SPL

# Les forêts à la **conquête** de la Terre

Il y a 400 millions d'années, l'apparition d'arbres dotés de feuilles et de racines amorce l'explosion de la vie terrestre. Un scénario que précise l'étude d'une des plus vieilles forêts du monde.

Étrange atmosphère… Des arbres d'une trentaine de mètres de hauteur semblables à des conifères, auxquels leurs branches tombantes confèrent un aspect un peu hirsute. Près d'eux, des plantes hautes de 6 à 8 mètres ressemblant à des fougères arborescentes, à la base bizarrement évasée. Et, à leur pied, des mille-pattes dévorant les végétaux en décomposition… Ce paysage fantastique, c'est celui que présentait sans doute une forêt âgée de… 386 millions d'années. Une forêt fossile, dont les premiers vestiges ont été découverts en 2009 dans une carrière de grès à Cairo, dans l'État de New York (États-Unis). L'équipe de chercheurs américains et britanniques qui l'a étudiée a publié ses résultats complets fin 2019.

*« Les fossiles de plantes de cette époque sont rares… Alors, une forêt entière, c'est exceptionnel ! On n'en connaît que trois autres au monde : à Gilboa, également dans l'État de New York, dans l'archipel norvégien des Svalbard, et en Chine »*, précise Chris Berry, chercheur en paléobotanique à l'université de Cardiff (Royaume-Uni) et membre de l'équipe. Mais ce n'est pas tout : la datation du site de Cairo par stratigraphie (l'analyse de la succession temporelle des couches géologiques) en fait la plus ancienne forêt fossile connue, et sans doute une des premières à être apparues sur la Terre.

**Les deux espèces dominantes** de Cairo : *Eospermatoperis*, aux allures de fougère géante (vue d'artiste) ; et *Archaeopteris*, l'un des premiers arbres dotés de feuilles (fossile).

Une Terre qui présente alors, en cette période géologique du dévonien (-418 à -359 millions d'années), un tout autre aspect que celui que nous connaissons aujourd'hui. Une large partie de l'hémisphère sud est occupée par un vaste continent, le Gondwana ; plus au nord, un autre continent, la Laurussia, englobe l'Eurasie et l'actuelle Amérique du Nord. Par l'effet de la tectonique des plaques, des chaînes de montagne s'y sont formées, dont les Appalaches et, à proximité, la petite chaîne des Catskills, où se trouve Cairo. Au pied des montagnes, des sédiments issus de leur formation se sont accumulés. Recouverts par des eaux peu profondes, ils constituaient à Cairo un système semblable au delta d'un fleuve.

## L'*Archaeopteris*, première espèce connue dotée d'un tronc constitué de bois

Un milieu idéal pour les plantes de l'époque. Car il y a 500 millions d'années, les végétaux, qui prospèrent depuis déjà un milliard d'années dans les océans sous forme d'algues, commencent à s'aventurer sur les terres émergées. Leur système reproducteur est constitué de spores, qui produisent un gamétophyte contenant des gamètes mâles et femelles. Ces derniers ne peuvent se rejoindre, lors de la fécondation, que par l'intermédiaire d'une fine couche d'eau. Ce qui explique le développement de ces végétaux dans des milieux humides.

*« Ces premières plantes ressemblaient probablement à des mousses. Les plantes ramifiées sont plus récentes : les plus anciennes dont on ait retrouvé les fossiles datent de 430 millions d'années. Cinquante millions d'années plus tard naissent les premiers arbres, qui se reproduisent aussi grâce à des spores »*, résume Brigitte Meyer-Berthaud,

WILLIAM STEIN & CHRISTOPHER BERRY

paléobotaniste au Cirad, à Montpellier. À la même époque émergent les plantes à graines, capables de coloniser des terrains plus secs car le pollen qu'elles fabriquent pour se reproduire est transporté par le vent. Les arbres à graines se développeront durant la période géologique suivante, le carbonifère (-358 à -298 millions d'années). Quant aux plantes à fleurs, avec leur cortège d'insectes pollinisateurs, elles n'arriveront que beaucoup plus tard, il y a 130 millions d'années.

Les deux espèces principales retrouvées dans la forêt de Cairo n'ont pas grand-chose en commun. Le plumeau qu'*Eospermatopteris* arbore à son sommet n'est autre qu'un entrelacs de ramifications de sa tige principale. L'arbre, *Archaeopteris* (rien à voir avec l'archéoptéryx, le petit dinosaure volant), nous est beaucoup plus familier : c'est en effet la première espèce connue dotée d'un tronc constitué de bois. Mais surtout, il possède… des feuilles !

**Piégé dans les sédiments** qui ont recouvert la forêt de Cairo, un fossile d'*Archaeopteris* dévoile ses longues racines : jusqu'à 13 mètres de long. Ce système racinaire puissant et ramifié permettait à l'arbre de puiser eau et nutriments dans le sol de façon très efficace.

**Jean-Sébastien Steyer, *La Terre avant les dinosaures*,** Belin, 2009

ANNE-LAURE DECOMBEIX

**« La feuille va se généraliser car elle est beaucoup plus efficace qu'une simple tige pour capturer la lumière et réaliser la photosynthèse »**

**Brigitte Meyer-Berthaud,** paléobotaniste

Une « invention » récente. « *La feuille va par la suite se généraliser,* reprend Brigitte Meyer-Berthaud, *car elle offre l'avantage d'exposer au soleil une surface beaucoup plus grande qu'une simple tige. Elle est donc bien plus efficace pour capturer la lumière et réaliser la photosynthèse.* » En outre, l'équipe américano-britannique a trouvé des systèmes racinaires très importants et complexes. « *Après avoir dégagé le paléosol, nous avons utilisé un drone pour le photographier du ciel,* raconte Chris Berry. *Autour de l'emplacement des troncs, nous avons ainsi pu observer des empreintes de racines horizontales d'*Archaeopteris *atteignant jusqu'à 13 mètres de long.* » *Archaeopteris* possède aussi des racines plus petites qui se développent en profondeur. Avec une innovation : ces racines sont ramifiées. Une configuration efficace pour extraire du sol les substances nutritives, comme le font les arbres actuels. En revanche, les racines d'*Eospermatopteris* ne comportent pas de ramifications.

« *Nous avons retrouvé sur le site des fossiles de poissons,* poursuit Chris Berry. *Cet indice, ainsi que l'analyse chimique du sol, suggère que tous les arbres ont été engloutis au même moment par les flots et des sédiments, peut-être suite à la crue d'une rivière combinée à de fortes pluies. Ce que nous voyons, donc, c'est un instantané de* ●●●

ANDREA OLGA MANTOVANI

**Dernière forêt « primaire » d'Europe, Bialowieza,** à la frontière de la Pologne et du Bélarus : des arbres depuis 12 000 ans.

# Arthropodes et tétrapodes, enfants des premières forêts

Il y a 385 millions d'années, la faune terrestre était encore peu diversifiée par rapport à celle des océans. *« À Cairo, on pouvait trouver, dans l'humus, des arachnides – acariens, araignées, etc. – et des myriapodes, autrement dit des mille-pattes, dont la plupart ne dépassaient guère 5 centimètres de long »*, explique Jean-Sébastien Steyer, du Centre de recherche en paléontologie (CNRS-MNHN-Sorbonne Université) à Paris. Quant aux cours d'eau et lacs des alentours, ils sont habités par des crustacés et d'étranges « poissons »

VICTOR HABERICK VISIONS/SPL/COSMOS

**Le *Tiktaalik roseae*,** animal du dévonien (reconstitution), fait partie des sarcoptérygiens, chaînon entre les poissons et les tétrapodes.

comme les sarcoptérygiens, munis de nageoires charnues qui ressemblent à des pattes primitives (le cœlacanthe en est un des derniers représentants). Cette branche a divergé pour donner les premiers tétrapodes, c'est-à-dire les vertébrés à deux paires de membres que sont aujourd'hui les amphibiens, reptiles, mammifères et oiseaux. *« Seules quelques traces de tétrapodes sont connues à l'époque de Cairo*, précise le paléontologue. *Ils habitaient les côtes et non les forêts. »* Dans les airs, en revanche… rien. Il faudra attendre le carbonifère, et son climat chaud et humide à l'équateur, pour voir jaillir une faune exubérante : des libellules de 70 centimètres d'envergure, des mille-pattes de deux mètres de long et des salamandres géantes. *« Sans le développement des forêts au dévonien, les arthropodes et les tétrapodes n'auraient pas pu évoluer comme ils l'ont fait*, souligne le chercheur. *Elles ont permis à la vie animale de prospérer sur Terre. »*

●●● *cette forêt.* » La cartographie du site, réalisée sur environ 3 000 mètres carrés, suggère qu'existaient des zones élevées plus sèches, où *Eospermatopteris* pouvait prospérer, et des zones basses où l'eau ruisselait, favorables à la fougère. La forêt d'origine s'étendait probablement le long de la chaîne des Appalaches, du Canada à l'État de New York et à la Pennsylvanie aujourd'hui. D'autres occupaient la surface du globe, mais il est difficile de dire quelle était l'importance de cette couverture végétale. « *Nous ne la connaissons que par les fossiles. Or, ceux-ci ne se forment que dans les zones où d'importantes quantités de sédiments portés par l'eau ont recouvert les débris végétaux* », précise Brigitte Meyer-Berthaud.

## Chênes, frênes, hêtres… Les espèces à fleurs finissent par prendre le dessus

Les paléobotanistes considèrent cependant que le dévonien a été la grande époque de la colonisation de la Terre par les plantes. Un phénomène qui a influencé l'évolution du climat terrestre. Comment ? « *À l'aide de leurs racines, les végétaux brisent les sols et y sécrètent des acides organiques,* explique Yves Godderis, du laboratoire Géosciences Environnement (GET), à l'observatoire Midi-Pyrénées, à Toulouse. *Ils accélèrent ainsi un phénomène naturel : l'altération des roches silicatées (granite, basalte…), qui provoque la transformation du $CO_2$ de l'atmosphère en ions bicarbonate, lesquels sont entraînés par les eaux vers les océans. Cette raréfaction du $CO_2$ a pour effet de refroidir le climat.* » La quantité de $CO_2$ dans l'air à ces époques reculées a pu être estimée à 5 000 ppm * il y a 500 millions d'années ; à la fin du dévonien, il y a environ 380 millions d'années, elle n'est plus que de 1 000 ppm (400 ppm aujourd'hui). « *La contribution exacte des végétaux à cette baisse fait encore débat. D'autres facteurs, notamment géologiques, font baisser le $CO_2$. Mais il est certain qu'ils ont joué un rôle* », souligne Yves Godderis.

*Eospermatopteris* et *Archaeopteris* disparaissent à la fin du dévonien. Aucun des deux n'a laissé de descendance. Au carbonifère, les forêts se diversifient en une abondance de formes et d'espèces. Puis les espèces à fleurs prennent le dessus. « *Aujourd'hui, elles dominent toutes les forêts. C'est le cas des chênes, frênes, hêtres…* », remarque Brigitte Meyer-Berthaud. Mais il reste encore des plantes à spores, modeste évocation des géantes du dévonien. Certaines nous sont familières : ce sont les fougères de nos sous-bois. ■ **JEAN-FRANÇOIS HAÏT**

* Parties par million.

66 interview

**BOGDAN JAROSZEWICZ**

Chercheur en botanique à l'université de Varsovie, directeur de la station géobiologique de Bialowieza, en Pologne

# « Il n'y a plus de forêt totalement vierge »

ANDREA MANTOVANI

**La forêt de Bialowieza, à cheval sur la Pologne et le Bélarus, est souvent considérée comme la dernière grande forêt primaire en Europe…**

Les forêts réellement « primaires », c'est-à-dire restées totalement préservées de l'action humaine, n'existent plus. L'être humain a tellement modifié la quantité de $CO_2$ dans l'atmosphère, les températures, les régimes de précipitations… qu'il a influencé même des régions inaccessibles. Il n'y a donc plus de forêt totalement vierge. Je préfère parler de « forêt naturelle » : un espace qui, même si les humains ont pu s'y aventurer, a conservé un couvert d'arbres continu pendant plusieurs siècles. À Bialowieza, la datation de pollens prisonniers de tourbières a permis de démontrer la présence ininterrompue d'arbres pendant 11 000 à 12 000 ans. C'est exceptionnel !

**Pourquoi est-ce si important ?**

Cette pérennité permet la continuité des processus biologiques. Par exemple, le bois mort se décompose et abrite un écosystème très riche en insectes et champignons : à Bialowieza, des scarabées, notamment, et près de 2 000 espèces de champignons macroscopiques, soit le quart du nombre d'espèces en Europe.

**Quelle est la part des forêts « naturelles » dans le monde ?**

Environ 20 % du couvert forestier, selon une étude de 2017. Cela peut paraître important, mais elles sont concentrées dans quelques régions : la zone boréale d'Alaska, du Canada et de la Russie, l'Amazonie, le bassin du Congo, les îles du Sud-Est asiatique et l'Australie. Et elles disparaissent très rapidement : leur surface a décru de 7,2 % entre 2000 et 2013. En Europe, Bialowieza est bien préservée. Elle est inscrite au Patrimoine mondial de l'humanité.

**Elle est pourtant menacée, elle aussi, par l'exploitation du bois…**

Tout à fait. En 2016, le gouvernement polonais a autorisé la compagnie forestière publique à abattre des arbres en nombre. L'année suivante, la Cour européenne de justice a ordonné d'arrêter ces coupes. Elles ont cessé, mais le risque demeure à moyen terme. Il faudrait agrandir le parc national, côté polonais, qui ne recouvre aujourd'hui que 17 % de la surface de la forêt*. Au Bélarus, le parc occupe une superficie beaucoup plus grande. Mais ce pays n'est pas dans l'Union européenne, ce qui rend les collaborations difficiles. Il est pourtant urgent de s'unir pour préserver les forêts naturelles, afin d'éviter un effondrement de la biodiversité mondiale, mais aussi parce que les sols des forêts anciennes sont beaucoup plus riches en carbone que ceux des zones replantées. Le grand défi aujourd'hui est de trouver un mécanisme de compensation économique à la protection de ces forêts.

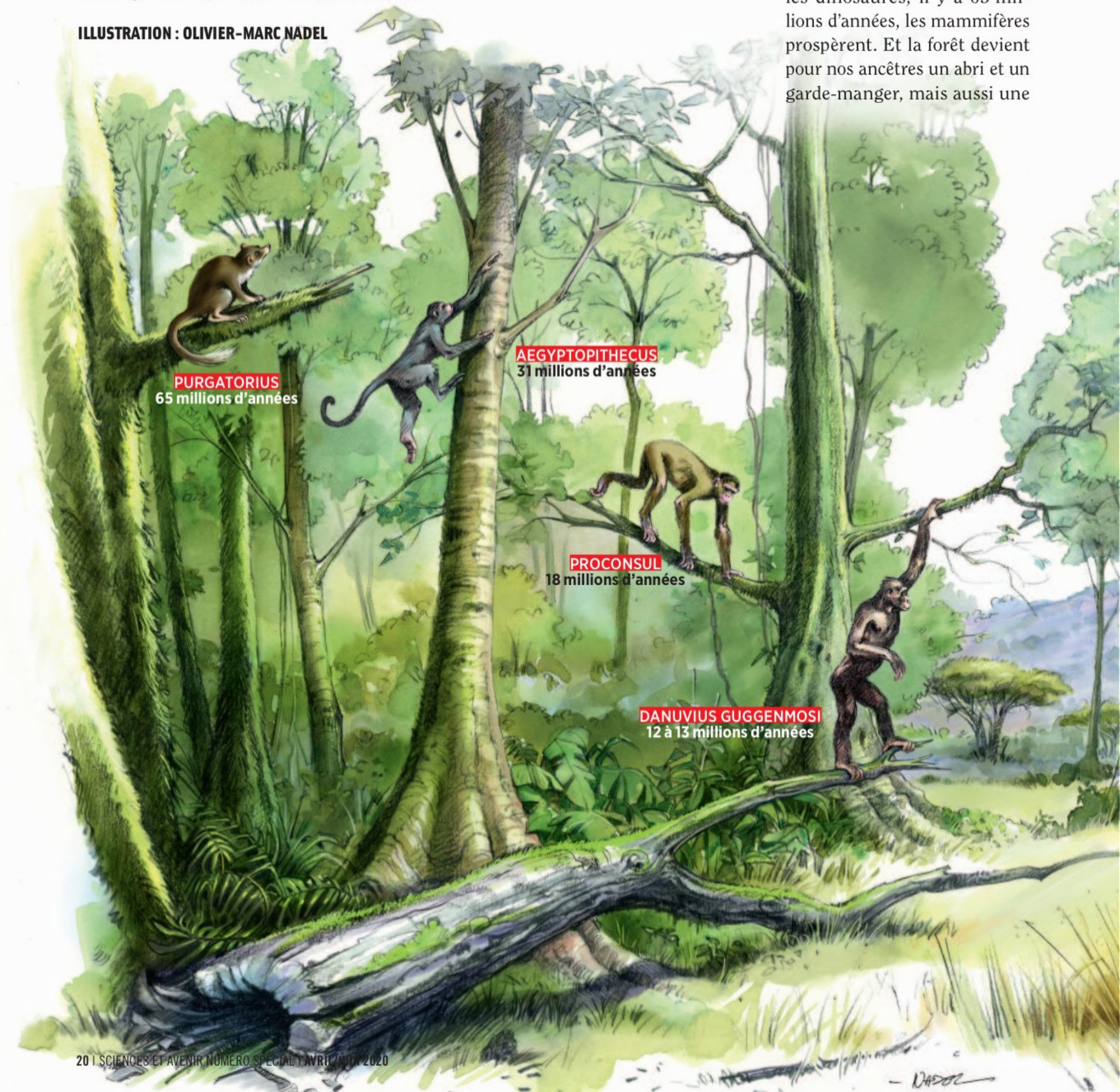
* La superficie totale de la forêt est de 141 885 hectares, dont 42 % en Pologne et 58 % au Belarus.

Chevilles ultra-mobiles pour mieux grimper, gros cervelet autorisant une meilleure coordination dans l'espace mais aussi l'apparition de la conscience : notre anatomie a été forgée au fil de millions d'années de vie dans les arbres... avant de nous permettre de les quitter.

# Comment la forêt nous a faits

**ILLUSTRATION : OLIVIER-MARC NADEL**

*« L'humain ne descend pas du singe, il descend de l'arbre »*, aime à dire le paléoanthropologue Pascal Picq. *Homo* est en effet issu des forêts, un territoire mouvant qui, à la préhistoire, s'est déployé et rétréci au fil des réchauffements et des glaciations entre Afrique, Asie et Europe. Après la disparition de leurs principaux prédateurs, les dinosaures, il y a 65 millions d'années, les mammifères prospèrent. Et la forêt devient pour nos ancêtres un abri et un garde-manger, mais aussi une



« matrice », un terrain de jeu évolutif qui, selon les études climatologiques, paléontologiques et génétiques, a puissamment contribué à les façonner. C'est dans cet environnement que sont apparus puis ont été sélectionnés des traits communs à tous les singes hominoïdes de la planète, y compris ceux qui ne grimpent plus qu'occasionnellement aux arbres, comme les humains ! Et ces traits nous distinguent franchement des autres mammifères, fossiles ou actuels. Que devons-nous à la forêt ? Quelle empreinte a-t-elle laissée sur nos corps ? Pour tenter d'apprécier l'héritage de nos ancêtres arboricoles, glissons-nous dans la peau d'une femme d'aujourd'hui, soit une *Homo sapiens*.

On remarque en premier ses chevilles ultra-mobiles, propres à danser le twist. Selon Stephen Chester, paléontologue de l'université de Yale (États-Unis), ce sont celles du grand ancêtre protoprimate *Purgatorius (voir l'illustration ci-dessous)*. Elles permettaient déjà à ce petit rongeur, contemporain des dinosaures, *« d'épouser les branches pour grimper »*. Mieux, *« elles annoncent la rotation et la flexibilité latérale de ces articulations chez tous les primates,* détaille-t-il dans une étude de 2015. *Alors que chez la majorité des autres mammifères, les chevilles sont limitées au fléchissement d'avant en arrière »*.

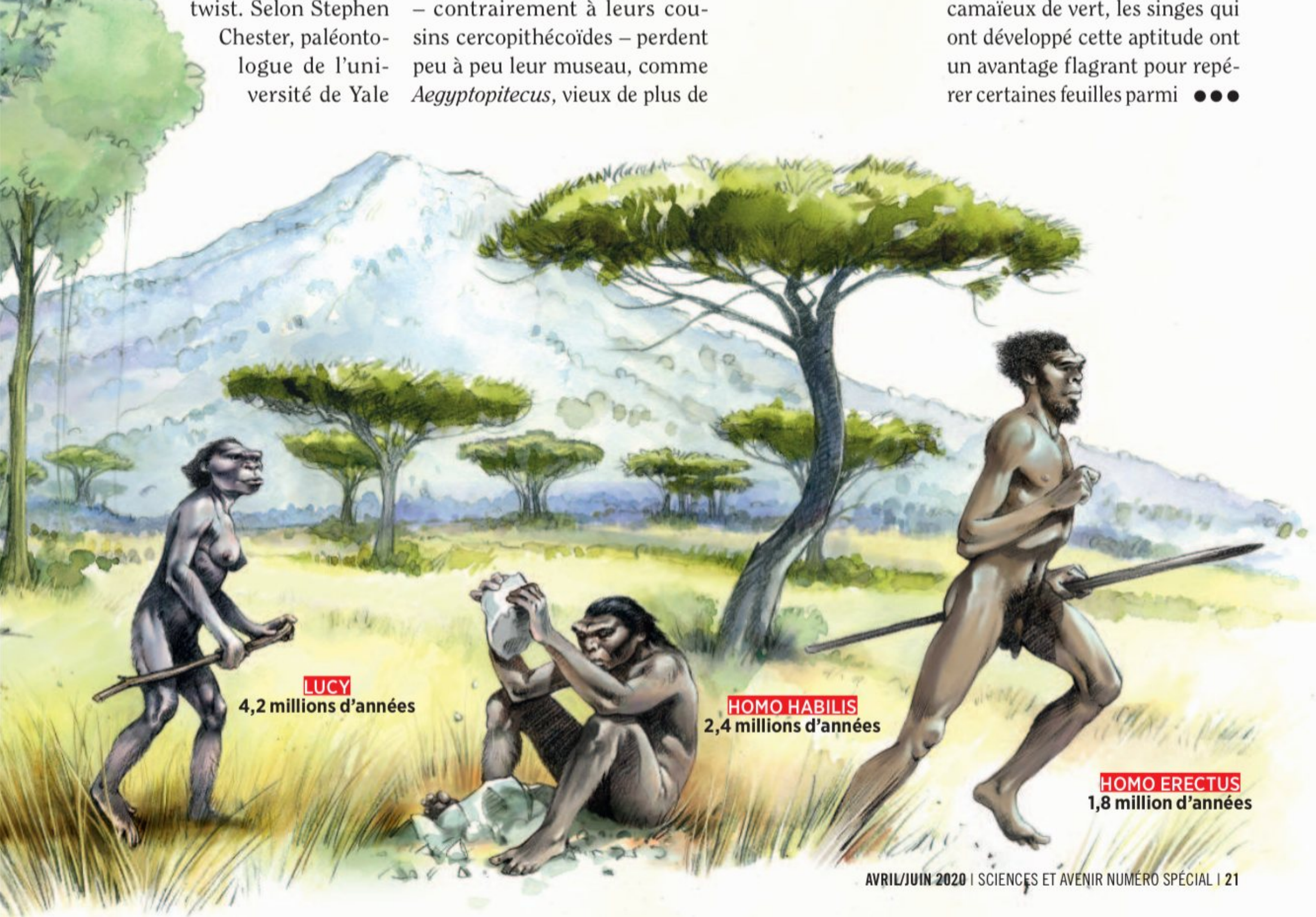
## Grand chambardement sensoriel

Cette face aplatie, ce nez, ce regard frontal, ce sourire à 32 dents qui caractérisent notre humaine contemporaine sont également le fruit d'une adaptation à la forêt entamée il y a 40 millions d'années. Ses ancêtres humanoïdes – contrairement à leurs cousins cercopithécoïdes – perdent peu à peu leur museau, comme *Aegyptopitecus*, vieux de plus de 30 millions d'années, au profit d'un simple appendice nasal. Les orbites grossissent, convergent de part et d'autre des racines du nez, et les yeux, qui étaient placés de chaque côté de la tête, glissent en position frontale : de panoramique, la vision devient stéréoscopique, et de surcroît exclusivement diurne. Car il est bien utile de voir de près dans un environnement où le feuillage filtre la lumière. En outre, se nourrir la nuit n'est plus une nécessité vitale, une fois les prédateurs dinosauriens disparus.

C'est également il y a 40 millions d'années que la vision colorée, absente chez les autres mammifères, apparaît chez les primates d'Afrique et d'Asie, par une mutation sur le chromosome X, estiment les généticiens. Celle-ci est rapidement sélectionnée : dans ce monde dominé par les camaïeux de vert, les singes qui ont développé cette aptitude ont un avantage flagrant pour repérer certaines feuilles parmi ●●●

**Pascal Picq,** *Premiers Hommes,* Flammarion, 2018

**Pascal Picq,** *Sapiens face à Sapiens,* Flammarion, 2019



FLORE-AEL SURUN / TENDANCE FLOUE

●●● les plus savoureuses, de tendres bourgeons et surtout des fruits, riches en glucides ! Les heureux propriétaires de trois photorécepteurs chromatiques, au lieu de deux pour les autres, ont donc prospéré…

Lors de ce grand chambardement sensoriel, la perte de la truffe et de l'odorat a sans doute été compensée par le développement du goût, qui fait toujours l'objet d'un véritable apprentissage selon les éthologues : les jeunes ont donc appris à déguster les plantes nutritives, éviter les toxiques, voire choisir celles qui soignent une infection ou débarrassent d'un parasite. Avec précision et même une certaine délicatesse… Les griffes sont devenues des ongles, les doigts se sont allongés et libérés les uns des autres, les phalanges se sont articulées et les singes se sont mués en véritables quadrumanes aux pouces opposables. Grâce à leurs mains, ils comptent parmi les rares mammifères à porter leur nourriture à la bouche, et non à tendre le museau vers elle pour la happer goulûment ou la déchiqueter du coin de la gueule.

### Toumaï, le *Sahelanthropus*, s'essaie à la marche sur le sol

Il y a 40 millions d'années encore, nos ancêtres disposent déjà d'une merveilleuse « trousse » à 32 outils dans la bouche, qui leur permet d'inciser, de trancher, de mastiquer, de broyer… Leur denture s'est ajustée à la diversité de nourriture disponible dans la canopée et la forêt : feuilles, fruits, graines, champignons, insectes, miel, œufs, oisillons, petits mammifères ou reptiles. 18 millions d'années plus tard, les premiers hominoïdes, tel Proconsul, perdent leur queue, commencent à développer un plus gros cerveau et forment une branche qui aboutira à notre lignée.

Si notre humaine marche sur ses deux pieds, se tient verticalement, est capable de se redresser, c'est également à la vie arboricole de ses lointains aïeux qu'elle le doit. *« Contrairement aux clichés persistants, la bipédie ne vient pas de la savane africaine, mais du monde des forêts*, souligne Pascal Picq, l'un des premiers à porter cette idée comme maître de conférences au Collège de France. *L'action de grimper verticalement le long d'un tronc d'arbre ou de marcher mobilise de la même façon les muscles des hanches et du bas du dos. »*

La capacité de marcher à deux pattes n'est pas spontanément apparue parce que nos ancêtres ont eu besoin, un beau jour d'il y a sept millions d'années, d'arpenter des plaines asséchées. Lorsque les populations d'hominidés se sont trouvées confrontées à un milieu mosaïque nécessitant de se déplacer d'un habitat arboré à un autre, elles possédaient déjà une aptitude à la bipédie. Celle-ci s'est installée, il y a une quinzaine de millions d'années peut-être, dans le répertoire locomoteur des grands singes. Sans doute en Europe, quand le vieux continent était couvert de forêts chaudes et humides. Les études anatomiques montrent en effet qu'il y a 12 à 13 millions d'années, le *Pierolapithecus*, en Espagne, ou le *Danuvius*, en Allemagne, ont été de ces pionniers qui ont commencé à marcher debout, les pieds sur une branche, tout en s'aidant de leurs mains pour s'agripper à une autre : ce que l'on appelle la bipédie assistée. *« Quand le poids dépasse quelques kilos, se mouvoir dans les arbres pousse à des adaptations locomotrices originales*, précise Pascal Picq. *Se déplacer avec précision demande une grande coordination des mouvements dans l'espace. C'est pourquoi les grands singes ont un gros cervelet. »*

AFP

**« Contrairement aux clichés persistants, la bipédie ne vient pas de la savane africaine, mais du monde des forêts »**

**Pascal Picq,** paléoanthropologue

Cette structure de l'encéphale, importante dans le contrôle moteur, joue un rôle dans des fonctions cognitives comme l'attention, le langage, la régulation de la peur ou du plaisir. C'est ainsi que serait apparue la conscience, celle du danger d'une chute comme celle des relations avec les autres. Notons que la marche bipède mettra encore quelques millions d'années à s'installer, et que cette évolution aura lieu en Afrique, à la faveur d'un refroidissement qui verra les forêts régresser. C'est là que Toumaï, le *Sahelanthropus* (- 7 millions d'années), s'essaiera à la marche sur le sol, que Lucy, l'australopithèque (-4,2 millions d'années), se déplacera d'une démarche chaloupée et encore mal assurée, sans perdre de vue son abri nourricier. La morphologie de la seconde montre qu'elle continuait à y vivre. *Homo habilis*, le premier homme, ne se déploiera jamais qu'au sein de cet écosystème il y a 2,4 millions d'années. Ce n'est que 600 000 années plus tard qu'un Homo, *Homo erectus*, marathonien et véritable globe-trotter avec ses pieds courts, robustes et dotés d'une voûte plantaire bien marquée, s'affranchira totalement du monde forestier.

## Réapprendre notre préhistoire pour protéger la forêt

Pour le meilleur et pour le pire. *« Le lien s'est brisé, la forêt est devenue une simple ressource, sans considération pour ceux qui y vivent toujours, parmi lesquels… des humains !* conclut Pascal Picq. *Pour protéger cette régulatrice du climat, ce trésor de biodiversité, apprendre aussi à ménager ce réservoir à virus qu'il ne fait pas bon libérer, il faut réapprendre notre préhistoire. »* La meilleure façon, selon lui, de *« nous inventer un destin en commun, durable, avec les derniers habitants de la forêt ».* ■

**RACHEL MULOT**

66 interview

**JACQUES TASSIN**

Chercheur en écologie végétale au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)

# « Un sens aigu de la collaboration dont nous pourrions nous inspirer »

En symbiose totale avec leur environnement, pleinement présents au monde, les arbres peuvent nous donner des leçons de savoir-vivre.

CÉLINE ESCOLOVIO / SAIF IMAGES

**Pourquoi avoir intitulé votre livre *Penser comme un arbre*, ce qui peut sous-entendre, à tort, une approche anthropomorphique ?**

Bien entendu, les arbres ne pensent pas. L'idée est plutôt de penser notre vie à la manière des arbres, d'apprendre de leur manière d'être. Végétaux et animaux ont développé des modes de vie radicalement différents, et ce sont précisément ces singularités qui sont fascinantes. L'arbre est l'archétype de l'altérité. Chercher en lui ce qui nous ressemble, pire, lui prêter des sentiments humains, serait sans intérêt.

**Selon vous, l'arbre est une bonne source d'inspiration ?**

Il est l'une des grandes figures du vivant sur Terre, sinon la plus grande. Il a conquis le monde entier en s'affranchissant du milieu marin, en s'ajustant à son environnement. Il faut se souvenir que nous habitons une planète végétale, dominée par les arbres. Nos ancêtres primates ont vécu en forêt durant 65 millions d'années, les arbres nous ont façonnés : nous gardons la mémoire de cette histoire commune et interactive.

**Quels « comportements », par exemple, vous semblent admirables ?**

Aller au-delà de soi, se prolonger dans le monde : l'arbre est avant tout surface, ce qui lui permet d'interagir avec toutes les composantes du monde vivant. Aucun être vivant ne s'extériorise autant. L'arbre façonne l'atmosphère, joue avec la lumière qu'il absorbe ou réfléchit et dont il capte l'énergie, dialogue avec le sol dans lequel il puise l'eau qu'il évapore ensuite ; il a incorporé des bactéries devenues ces chloroplastes qui assurent la photosynthèse, il collabore avec les champignons pour mieux accéder aux éléments minéraux, s'associe avec les insectes pollinisateurs, les oiseaux disperseurs de graines… et même les humains qui transportent au loin ses fruits ou de jeunes plants. C'est une convivialité totale, une symbiose multipliée, l'expression d'un sens aigu de la collaboration dont on pourrait s'inspirer.

L'arbre est aussi doté d'une remarquable plasticité morphologique : une espèce comme le chêne pédonculé peut présenter une grande diversité de formes. Il n'y a chez lui ni architecture prédéfinie, ni plan imposé, mais beaucoup de souplesse. Il ne se soustrait pas au monde, comme peut le faire l'animal en fuyant, mais compose avec l'adversité, s'ajuste à ce qui l'entoure, s'accorde au temps subtil de la Nature, qui n'est pas celui des horloges. Or, l'engouement actuel pour la méditation révèle notre besoin d'être pleinement présent au monde. La fréquentation attentive des forêts nous reconnecte à notre temporalité intime.

**La forêt peut-elle nous inspirer face à la crise écologique ?**

C'est une source d'inspiration inépuisable pour l'économie circulaire : la forêt est un parangon du recyclage, et l'arbre un modèle de sobriété. Il recycle intégralement. Il élabore lui-même la matière organique qui le constitue, fixe le carbone, produit de l'oxygène. Des chercheurs tentent d'ailleurs de reproduire les processus de la photosynthèse pour capter le $CO_2$ émis par nos sociétés industrielles et le stocker sous une forme organique. Nous gagnerions à instaurer une nouvelle alliance avec les arbres et les forêts !

**PROPOS RECUEILLIS PAR ÉLIANE PATRIARCA**

**Jacques Tassin,** *Penser comme un arbre*, Odile Jacob, 2018

# DANS LA FORÊT FRANÇAISE

La France n'a jamais été aussi boisée ! Feuillus et résineux se partagent un tiers de sa surface. Mais qu'ont en commun les futaies jardinées du Jura, les réserves de biodiversité de Fontainebleau et les plantations de pins des Landes, dont l'exploitation intensive n'a rien d'écologique ? Tour d'horizon des paysages forestiers de l'hexagone, en compagnie de ceux qui les façonnent.

**Sous-bois d'une chênaie pubescente** au printemps dans le Luberon.

DAVID TATIN / BIOSPHOTO

# Une autre **sylviculture** est possible !

Plutôt que d'exploiter intensivement leur domaine, des propriétaires, épaulés par des forestiers éclairés, adoptent des méthodes respectueuses de la nature... et rentables. Enquête en Bourgogne et dans le Jura.

René Bonnot est l'heureux propriétaire du bois de l'Étang : 11 hectares de chênes sessiles, pédonculés et rouges, de châtaigniers, d'érables, de frênes, de charmes, de merisiers et de douglas situés à 350 mètres d'altitude sur le plateau de l'Autunois, dans le Morvan. René, 71 ans, Morvandiau de naissance, est un jardinier plus qu'un forestier. Son bois : un terrain de jeu et d'agrément. Et tous les huit à dix ans, à chaque coupe d'arbres commercialisables, une source de revenus.

Quand l'âge de la retraite a sonné, cet ancien fonctionnaire des Postes a décidé d'investir ses économies dans des arbres plutôt que dans l'immobilier. *« Je n'y connaissais rien… C'est ce qui m'a motivé!* avoue ce petit homme sec comme un coup de trique. *J'avais tout à apprendre. »* Près de vingt ans ans plus tard, les techniciens du Centre régional de la propriété forestière (CRPF) de Bourgogne-Franche-Comté saluent un propriétaire exemplaire. *« Voilà à quoi peut ressembler une forêt gérée durablement »*, admire Bruno Borde, ingénieur forestier au CNPF (Centre national de la propriété forestière), l'organisme public destiné à accompagner les propriétaires privés dans la gestion de leur forêt. René n'a pas de secret. Tout ce qu'il entreprend pour ses arbres provient de ce qu'il a entendu dans les réunions techniques, lu dans les revues spécialisées, et de ce que lui a dicté son bon sens.

**Le site du CNPF :** www.cnpf.fr

**Le site de Fransylva, les propriétaires privés de France :** www.fransylva.fr

**Le site de la filière bois :** https://franceboisforet.fr

**Le bois énergie durable :** www.lebois-energie.fr

Découpé en sept parcelles, le bois de l'Étang fait l'objet d'un plan simple de gestion (PSG). Cet outil a été instauré en 1963, par la même loi qui a créé les conseillers forestiers pour la forêt privée : des techniciens habilités à instruire et approuver ce type de plans, qui sont obligatoires à partir d'une surface de 25 hectares. Le PSG détaille le climat, le sol, la pluviométrie de la zone, la présence d'animaux, énumère les activités qui s'y déroulent comme la chasse ou la cueillette des champignons, et évalue la qualité des arbres présents comme leur aptitude à être transformés en bois d'œuvre (charpente, menuiserie), en bois d'industrie (pâte à papier, palettes) ou en bois énergie (bûches et plaquettes). Chacune des parcelles est décrite selon son occupation : futaie régulière de feuillus, taillis, plantation résineuse. Enfin, le PSG établit une programmation des travaux et des coupes sur dix ans, tant pour l'entretien que pour l'exploitation.

## Une jeune pousse met de trois à quatre ans pour atteindre la hauteur d'une botte

René Bonnot fait visiter sa forêt comme il le ferait d'un potager. Il s'enthousiasme de la vigueur d'un érable sycomore, prévoit l'éclaircissement d'une zone de hêtres et de chênes par la coupe de « tiges » devant permettre aux voisins de mieux pousser, signale une cavité occupée par un nid d'abeilles qui vaudra à un charme d'être épargné. La parcelle n° 1, une futaie de 1,5 hectare, est signalée *« globalement exploitable »*. Sur quels critères ? Elle compte entre 50 et 80 troncs à l'hectare, dont 70 % ont un diamètre supérieur à 50 centimètres, et la surface terrière (la place occupée au sol par les troncs) varie de 11 à 13 mètres carrés par hectare. La hauteur moyenne de la canopée est de 27 mètres, dont 8 mètres de bois d'œuvre. ●●●

JEAN-FRANÇOIS DEBARNOT / NATUREIMAGES

COURTESY HERVÉ LOUIS

**« Quand on coupe, on constate des changements d'équilibre entre arbres et sous-bois jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de notre intervention »**
**Hervé Louis,** technicien forestier

**L'exploitation raisonnée** complique le travail des engins de débardage : pour sortir un tronc mûr du sein de la fûtaie, il faut calculer l'endroit où l'arbre va tomber et le chemin pour y accéder.

●●● Mais René ne coupera pas tout de suite. Il attendra que le diamètre atteigne 55 centimètres. Et surtout, il n'abattra que 20 % des individus. « *Une fois partis, ces grands arbres vont laisser la place à des trouées de lumière qui permettront aux graines de se développer,* se réjouit le forestier. *La parcelle va ainsi se régénérer naturellement. Il me faudra tout de même passer régulièrement pour nettoyer les ronces qui envahissent les jeunes plants.* » Tout cela demande du temps. Ainsi, les chênes ne produisent une « glandée » (production de glands) abondante que tous les cinq à huit ans, et une jeune pousse met de trois à quatre ans pour atteindre la hauteur d'une botte, qui signale que la régénération va réussir. Un futur arbre que couperont les petits-enfants de ses petits-enfants, car René est heureux de venir dans sa forêt avec ses petits-fils qui passent des journées dans les frondaisons. En faisant une coupe rase, il pourrait gagner d'un coup 25 000 euros par hectare, amputés de 5 000 euros pour replanter. Là, il gagne cinq fois moins. Mais garde du revenu pour quarante ans.

**Les forestiers jouent avec la lumière.** En éclaircissant la parcelle, ils laissent entrer le rayonnement solaire et favorisent ainsi la germination des graines (à gauche). Leur travail consiste ensuite à sélectionner les jeunes pousses qui arriveront à maturité des décennies plus tard (au centre).

## Les « tarés », affublés d'une fourche disgracieuse au milieu d'un tronc que l'on espérait droit

C'est ce modèle de gestion que les forestiers du CNPF conseillent, à défaut de pouvoir l'imposer, à des propriétaires qui restent maîtres chez eux. Plutôt que l'exploitation industrielle d'arbres plantés la même année, ils préfèrent « *des arbres de tous âges et un mélange d'espèces* », résume Hervé Louis, quarante ans de suivi de la forêt du Morvan derrière lui. Son langage semble décrire une communauté humaine. Tête en l'air, les yeux dans les houppiers (les branches sommitales), Hervé distingue les dominants des dominés, déplore les « *tarés* », ces individus affublés d'une fourche disgracieuse au milieu d'un tronc qu'on espérait aussi droit qu'une future poutre, et salue les « *éducateurs* », des adultes au pied desquels s'épanouissent les jeunes pousses. « *Les plants sont d'abord serrés les uns contre les autres dans une phase de "compression". La concurrence les oblige à aller chercher la lumière et à "monter" sans faire de branches latérales,* détaille Hervé Louis. *On éclaircit ensuite le peuplement en sélectionnant les individus qui ont gagné la compétition, avec une préoccupation constante : laisser la tête au soleil – pour que la croissance se poursuive – et le tronc à l'ombre pour éviter que des branches "gourmandes" n'y poussent dans les premiers mètres du fût, provoquant des nœuds dans le bois.* » Semis, gaulis, perches, petits bois, bois moyens, gros bois, très gros bois… tout le pari est de créer au même endroit un équilibre entre ces sept étapes de la croissance des arbres.

Éliminer un individu plutôt qu'un autre est une tâche délicate. La topographie, l'orientation au soleil, l'écartement entre les troncs sont des critères essentiels. Sans compter les liaisons invisibles entre arbres, qu'il convient de respecter au mieux. En juillet 2019, Sebastian Leuzinger, de l'université d'Auckland (Nouvelle-Zélande), a mis en évidence les échanges d'eau et de nutriments entre des arbres et une souche, grâce au réseau des mycéliums des champignons entrelacés aux radicelles, qui a permis à cette dernière de continuer à vivre pour servir de réserve à ses voisins. Dans *iScience,* le chercheur émettait l'hypothèse qu'une forêt pourrait bien constituer une entité unique et n'être pas qu'une simple accumulation d'arbres.

Des souches vivantes alors qu'elles devraient être en train de pourrir, Hervé Louis et Bruno Borde en rencontrent souvent. « *Et pour nous, il ne fait pas de doute que des relations fortes existent,* assurent-ils. *Quand on coupe, on constate des changements d'équilibre entre arbres et sous-bois, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de notre intervention.* »

## Banques, sociétés d'assurance et fonds de pension possèdent des massifs entiers

On aurait tort de penser que ce mode de gestion raisonnée n'est possible que sur de petites surfaces. Certes, la forêt française est morcelée entre plus de 3 millions de propriétaires, dont 2,2 millions possèdent moins d'un hectare. Rien qu'en Bourgogne, 320 000 propriétaires se partagent un million d'hectares. Mais les 4 000 PSG de cette région en représentent la moitié.

Grandes familles forestières mais aussi banques, sociétés d'assurances et fonds de pension possèdent des massifs entiers. Les revenus de la forêt améliorent en effet les rendements des portefeuilles d'actions. Ce sont sur leurs domaines que sont dénoncées les monocultures intensives gonflées aux pesticides, le remplacement des feuillus par des résineux (ou enrésinement), les coupes rases où, sur plusieurs hectares, tous les arbres sont abattus en même temps… Bref, une sylviculture industrielle qui appauvrit les sols et bouleverse non seulement les paysages, mais aussi la biodiversité animale et végétale. En septembre 2019, la députée Mathilde Panot (La France Insoumise) a ainsi lancé une « commission d'enquête citoyenne » pour dénoncer la gestion actuelle des forêts. « *Associations environnementales, syndicalistes forestiers, élus, nous constatons une industrialisation rampante et croissante de la forêt française,* pointe la parlementaire. *La monoculture de douglas, l'usage de pesticides et les coupes rases détruisent les sols et la biodiversité, et sont une aberration climatique. Le Morvan est le symbole même de la gestion à court terme de nos forêts.* »

La plupart des techniciens forestiers ne contestent pas. Ces professionnels indépendants mettent en œuvre les travaux décidés par les propriétaires (ce que ne font pas les salariés du CNPF). Ils ne peuvent s'opposer à leur décision de « tout couper », même s'ils regrettent souvent qu'on en arrive là. Pour limiter l'impact visuel, ils suggèrent de sauvegarder en lisière une ligne d'arbres qui cachera la zone rasée. Et tentent de convaincre que la futaie irrégulière, dite aussi jardinée – celle expérimentée chez René Bonnot – est une bonne solution. Une parole qui ne porte pas toujours. « *Je me souviens d'une personne qui venait d'hériter d'un bois de belle taille,* raconte Hervé Louis. *Elle a décidé de le raser intégralement… Elle voulait l'argent tout de suite pour s'offrir le tour du monde en bateau dont elle rêvait depuis toujours !* »

Romain Lachèze, 32 ans à peine, agent du CRPF, plaide lui aussi pour une gestion raisonnée. Son public : les grands propriétaires de la forêt ●●●

ROMAIN LACHÈZE

**« Nous avons fini par convaincre les propriétaires d'arrêter les coupes rases et de procéder par régénération naturelle en éclaircissant les taillis »**

**Romain Lachèze,** technicien forestier

**Autodidacte et forestier sur le tard,** René Bonnot fait partie de ces millions de propriétaires dont chacun a sa propre histoire et un rapport singulier à la forêt.

LOÏC CHAUVEAU - CHRISTOPHE SIMON/AFP/GETTY IMAGES - LOÏC CHAUVEAU

# DANS LA FORÊT FRANÇAISE

JOËL BRICOUT / BIOSPHOTO

**À partir des années 1950**, les propriétaires ont misé sur les résineux, à l'exploitation plus rapide, changeant le visage de la forêt française comme ici en Sologne.

●●● de Gergy, 2 500 hectares situés dans le nord de la Bresse, dont 730 appartenant à la caisse de pension du Cern, l'organisme européen pour la recherche nucléaire. Charmes et tilleuls y côtoient des chênes majestueux. *« Nous avons fini par convaincre les propriétaires d'arrêter les coupes rases et de procéder par régénération naturelle en éclaircissant les taillis »*, pose le forestier. Mais il arrive parfois que celui-ci arrive trop tard. La parcelle plantée n'a pas été éclaircie et tous les arbres arrivent à maturité en même temps. Pour ces futaies régulières, ne reste plus que la coupe rase. Et les achats de plants variés chez le pépiniériste, si le propriétaire est assez motivé pour choisir d'investir au profit de sa descendance… *« ce qui n'arrive que trop rarement »*, regrette Romain Lachèze.

Le modèle de Romain, de Bruno et d'Hervé n'est pas bourguignon. Il s'agit de la forêt jardinée du Jura. *« Au XIXe siècle, celle-ci fut l'exemple parfait d'une exploitation couvrant des besoins immédiats*, raconte Jean-Baptiste Mottet, conseiller CRPF pour le secteur de Champagnole (Jura). *Avec l'exode rural, les arbres ont reconquis les prairies abandonnées. »* Le technicien en veut pour preuve ces alignements de pierre calcaire édifiés au cours des siècles par les éleveurs pour marquer les limites de leurs champs, et qu'on peut encore entrevoir entre deux arbres, serpentant dans le sous-bois. *« Ils ont alors été récoltés au coup par coup pour payer un mariage ou la construction d'une maison »*, poursuit-il. Étagée entre 400 et 1 000 mètres d'altitude, plutôt accessible, la montagne jurassienne se prêtait à l'exploitation des sapins et des hêtres qui cohabitaient à l'époque sur ses pentes calcaires. Les 7 à 8 mètres cubes de bois par hectare prélevés tous les ans alimentaient les petites scieries que chaque village abritait. L'art du « jardinage comtois » atteint son optimum à la fin du XIXe siècle. Par la suite, la déprise agricole emporte avec elle les bases techniques et les connaissances empiriques accumulées sur

## Se chauffer au bois, un geste écologique ?

**Le bois stocke le $CO_2$… et le déstocke quand il brûle. Un bilan neutre qui explique pourquoi la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) française lui assigne une place éminente dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, sous réserve qu'il soit consumé dans un poêle ou insert performant. De 120 millions de kilowattheures, la consommation de produits forestiers devra passer à près de 160 millions en 2028. Les ménages français brûlent aujourd'hui 22 millions de mètres cubes dans leurs inserts et chaudières aux granulés de bois, tandis que 4 millions de mètres cubes partent dans les chaufferies collectives et 1 million de mètres cubes de charbons de bois et briquettes dans la petite industrie. Pour atteindre les objectifs de la PPE, il faudrait donc augmenter les prélèvements d'un tiers…**

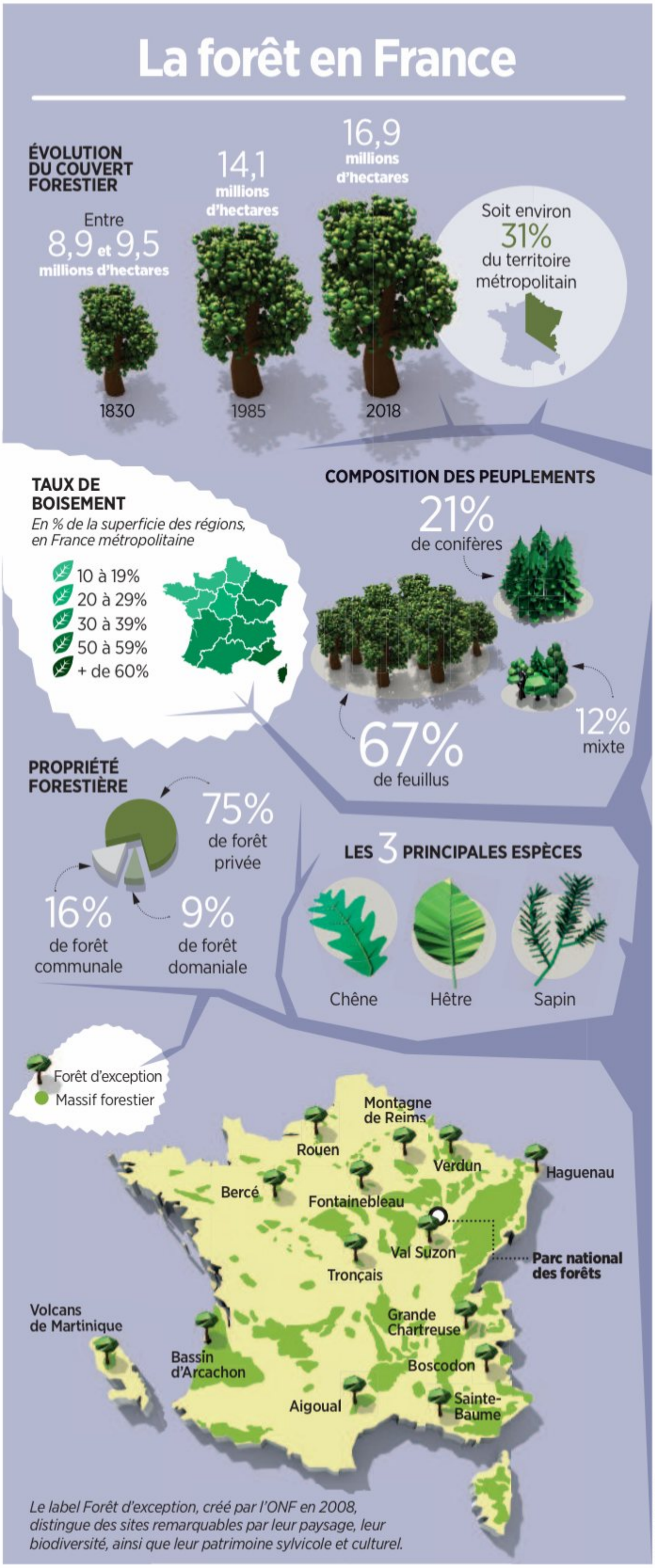
**Or ce volume est aisément disponible : on ne coupe que la moitié de la pousse annuelle des arbres. Mais si les forestiers exploitent demain la totalité des houppiers et les arbres qui ne peuvent fournir du bois d'œuvre, on risque d'appauvrir les sols. Ces branchages abandonnés sur place, appelés rémanents, restituent en effet à des terres déjà pauvres la matière organique et le carbone dont elles ont besoin. Ne pas tout prendre et savoir en laisser : voilà l'équilibre à trouver.**

ces forêts. En 1980, celles-ci sont soit sous-exploités et vieillissants, soit renouvelés par des plantations d'une seule espèce, l'épicéa. Le mélange feuillus-résineux s'est perdu. Aujourd'hui, cependant, il retrouve une seconde jeunesse. « *Il s'agit toujours d'exploiter le bois,* résume Jean-Baptiste Mottet, *mais dans le respect de l'environnement, de la biodiversité et du maintien de la qualité des paysages.* » Il faut pour cela exhumer les techniques ancestrales, inciter les propriétaires à venir sur le terrain pour redécouvrir leur bien, améliorer la gestion, l'exploitation…

## Abattre ou conserver… Le choix tient beaucoup au ressenti et à l'intuition du forestier

C'est une génération nouvelle qui s'y met. Jean-Baptiste Mottet a 36 ans, sa collègue Maureen Constantin, 28. Ce jour-là, ils ont rendez-vous avec un gestionnaire forestier, Florian Greusard, 27 ans. Florian propose ses services aux propriétaires, soit pour un suivi à l'année, soit pour une intervention ponctuelle sur le choix des arbres à abattre ou sur l'encadrement des bûcherons ou du loueur de machines d'abattage utilisées sur le chantier. Arpentant d'anciens pacages complètement colonisés par les arbres, ils inspectent tous trois le couvert. Ils s'accordent vite sur le diagnostic de la parcelle : il faut ouvrir à la lumière… et donc couper. Mais pas n'importe comment ! Le protocole est clair. D'abord sortir les arbres malades ou qui ont dépéri pour des raisons sanitaires. Ensuite, éclaircir en faisant tomber ceux qui empêchent le plus grand nombre d'atteindre la taille commerciale requise. Enfin seulement, récolter les individus qui sont à leur optimum de croissance.

Le « martelage », la technique consistant à marquer les arbres à abattre ou conserver, tient beaucoup au ressenti et à l'intuition du professionnel. « *Notre métier n'existait pas il y a trente ans* », rappelle Florian Greusard. Les générations précédentes prenaient des décisions sans réelles connaissances forestières. C'est pourquoi, depuis quelques années, le conseil scientifique du CNPF multiplie les fiches décrivant les méthodes de gestion qui font leurs preuves, avec une devise : « *Imiter la nature et hâter son œuvre* ». Avec beaucoup de modestie. « *On commence juste à voir le résultat des actions de sylviculture entreprises il y a vingt ou trente ans,* rappelle Bruno Borde *(lire l'interview p. 33). Lorsqu'on intervient, on ne peut pas savoir exactement ce qu'il en sera des décennies plus tard.* » Les outils s'accumulent cependant : l'indice de biodiversité potentielle ●●●




*Le label Forêt d'exception, créé par l'ONF en 2008, distingue des sites remarquables par leur paysage, leur biodiversité, ainsi que leur patrimoine sylvicole et culturel.*

MEHDI BENYEZZAR

# L'ONF, entre coupes claires et coup de blues

**L'image n'est pas très sylvestre, mais s'impose : l'Office national des forêts (ONF), qui gère les forêts appartenant à l'État et aux collectivités publiques, prend l'eau de toute part. Son mode de gestion, en particulier, est fortement contesté. Créé en 1964, l'Office n'a qu'une seule source de revenus, le bois, dont l'exploitation doit donc lui permettre de rémunérer ses employés et de remplir différentes missions : accueil du public, gestion du gibier pour la chasse, entretien de la biodiversité… Or, alors que l'État impose la vente de 6,5 millions de mètres cubes de bois par an, ces dernières années, seuls 5,7 millions de mètres cubes ont été sortis, faute de ressource exploitable. De plus, les cours du bois d'œuvre ont baissé de 30 % depuis dix ans. Le déficit structurel de l'ONF s'élevait en 2019 à 55 millions d'euros, sa dette à 400 millions.**

**Et cela, malgré des coupes claires dans les effectifs : 15000 emplois il y a vingt ans, 9000 aujourd'hui. Les conditions de travail se sont dégradées, amenant à une vague de suicides. *« Les embauches actuelles se font sur des contrats de droit privé*, dénonce par ailleurs Philippe Canal, du syndicat Snupfen Solidaires. *Ce que nous craignons, c'est que les agents ONF perdent leur statut de fonctionnaire. »***

NICOLAS TAVERNIER/REA

**Des agents de l'ONF manifestent** pour défendre les missions de service public de l'organisme.

**Or un salarié du privé est plus sensible aux pressions des intérêts particuliers, qu'ils soient commerciaux ou de loisir, comme ceux des chasseurs. Et la situation est d'autant plus à risque que les agents doivent police et sanctionner certaines infractions. La nomination fin 2019 au poste de directeur général de Bernard Munch, haut fonctionnaire au profil de gestionnaire sans aucune compétence forestière, a ravivé toutes les inquiétudes.**

**L'État n'ignore rien de cette situation. Le rapport remis par l'Inspection générale des eaux et forêts au gouvernement en juillet 2019 dénonce le défaut de gouvernance de l'établissement, sa stratégie à moyen terme de préservation biologique des forêts étant en contradiction avec l'obligation de vendre toujours plus de bois. Il pointe aussi le manque de transparence de ses comptes, qui n'incite pas les collectivités à lui faire confiance. De leur côté, certains collectifs de citoyens et ONG ont dénoncé en octobre 2018 dans un « manifeste de Tronçais » une privatisation rampante de ce bien commun qu'est la forêt.**

**Pour Albert Maillet, directeur Forêts et risques naturels de l'Office, *« la principale piste consiste à trouver d'autres sources de revenus. La forêt fournit des services éminents comme le stockage de carbone, le maintien de la biodiversité, la protection des eaux, qui devraient être rémunérés par ceux qui en tirent profit. »* On note un frémissement. Le rôle des arbres dans l'épuration des eaux, qui permet de réduire le coût de potabilisation, commence ainsi à faire l'objet de calculs économiques. Une autre solution serait de faire payer l'accès du public aux chemins forestiers. Une pratique répandue à l'étranger, mais qui paraît bien improbable en France.**

●●● qui recense la flore et la faune des forêts à préserver, Bioclimsol, un protocole de diagnostic qui associe les éléments climatiques et la structure du sol pour un peuplement donné, et le bilan carbone qui permet d'accéder à des financements via la compensation des activités émettrices de gaz à effet de serre.

Les arbres survivent généralement aux humains. Ce qui oblige ces derniers à tenter d'imaginer le futur comme les rêveurs d'une nature changeante et de paysages mouvants, impactés par une hausse brutale des températures bien trop rapide pour que les arbres s'y adaptent. C'est l'angoisse actuelle de Maureen Constantin. Au CRPF de Franche-Comté, elle a la charge de la « petite montagne », ce piémont du Jura – 400 mètres d'altitude en moyenne – où alternent bois et prairies. 17 000 hectares classés pour leur intérêt écolo-

gique, soixante communes, 8 000 habitants. *« Il s'y déroule une tempête silencieuse »*, déplore la forestière.

À chaque orée, des monceaux de grumes. Des épicéas. Ces arbres de montagne ont été plantés en grande quantité à partir des années 1950 et 1960 grâce aux aides du Fonds forestier national. À trop basse altitude. Le réchauffement climatique affecte directement la santé de ces populations qui atteignent aujourd'hui les 30 mètres. *« Il y a deux ans, l'invasion des scolytes* (lire p. 68) *est intervenue sur des arbres affaiblis par les sécheresses,* poursuit la jeune femme. *Aujourd'hui, ces résineux sont complètement secs et il faut les abattre de toute urgence si l'on veut encore pouvoir en tirer quelque chose sur le marché. »* Même les sapins, espèce adaptée au climat jurassien, commencent à perdre de leur vigueur à cause des canicules récurrentes *(lire aussi p. 66-69).*

## Quelles espèces pourront résister à une hausse des températures de 3 à 4°C ?

Les bois sont par ailleurs affectés par la pyrale du buis. *Buxus supervirens* se dessèche et perd les feuilles vertes qu'il gardait auparavant toute l'année. Résultat : le 26 juillet 2018, au-dessus du lac de Vouglans, 60 hectares de forêts sèches comme de l'amadou sont partis en fumée : un sinistre exceptionnel pour une région de l'est de la France. Et un avertissement. *« Nous devons renforcer nos capacités de lutte contre le feu et, surtout, créer des chemins d'accès pour les pompiers, comme cela est obligatoire dans le midi de la France »*, préconise un forestier de l'ONF.

Cette situation laisse Maureen Constantin impuissante. *« Je suis dans l'incapacité de conseiller, aux propriétaires qui voudraient replanter, les essences désormais les plus adaptées à la région,* s'inquiète la forestière. *Quelles espèces pourront résister à une hausse des températures de 3 à 4 °C d'ici la fin du siècle? Nul ne le sait. »* C'est pour trouver des réponses qu'a été créé Aforce, un réseau pour l'adaptation des forêts au changement climatique, mutualisant les expériences des professionnels partout sur le territoire.

Car ces questions concernent tous les massifs forestiers français, des Landes aux forêts d'altitude en passant par les hêtraies de plaine. Dans le Morvan, René Bonnot a conscience que le bois de l'Étang sera bien différent lorsque ses petits-fils auront son âge. Et pas seulement parce que les gros bois d'aujourd'hui auront été coupés. *« Depuis quelques années,* s'inquiète le propriétaire, *les arbres ont de plus en plus soif… »* ■

**LOÏC CHAUVEAU**

Interview

**BRUNO BORDE**

Ingénieur forestier à Chalon-sur-Saône

# « Tout a été fait pour une exploitation mécanisée »

COURTESY BRUNO BORDE

**Le douglas, espèce américaine, a été planté massivement en France. Dans quelles circonstances?**

Il est arrivé dans le pays en 1947 avec le Fonds forestier national, destiné à financer la reforestation du pays sur des terrains délaissés par l'agriculture et en remplacement de forêts de feuillus appauvries. À l'époque, le pays devait se reconstruire et il fallait donc des matériaux, dont le bois. Cette espèce originaire de l'ouest de l'Amérique du Nord s'adapte bien sur des zones de moyenne montagne comme le plateau de Millevaches, certaines régions du Massif central et le Morvan. Dans cette région, il occupe la moitié de la surface forestière, contre 8 % dans le reste de la Bourgogne.

**Quelles en sont les caractéristiques ?**

*Pseudotsuga menziesii* n'est pas un pin, mais une espèce à part entière de la famille des résineux. Sa croissance est rapide, et il s'avère efficace pour capter le $CO_2$. En outre, résistant aux maladies et ravageurs, il peut vivre plus de cent ans, atteignant alors des hauteurs de plus de 50 mètres. Et son bois est très recherché pour sa dureté et son imperméabilité, et vaut cher.

**Il est aujourd'hui très contesté…**

L'espèce a été plantée dans les années 1950 à 1970 dans le but de constituer des forêts plus productives et lucratives. Tout a été fait pour que son exploitation soit mécanisée : les arbres ont été plantés en futaies régulières afin qu'ils puissent tous être coupés en même temps par des machines, de manière que celles-ci soient rentables. C'était l'époque de l'essor du machinisme et de l'industrialisation de la transformation du bois. Si le Fonds forestier a parfaitement répondu aux objectifs de départ, la politique forestière décidée à cette époque ne correspond plus aux attentes d'aujourd'hui.

**Que faire de ces plantations ?**

La coupe rase (l'abattage de la totalité des arbres d'une parcelle, *ndlr)* est de moins en moins tolérée. Dans nos parcelles d'expérimentation, les « marteloscopes », nous testons la futaie irrégulière et l'allongement du temps de production, avec une régénération lente favorisant le mélange. À vingt ou trente ans, les arbres plantés très serrés empêchent la lumière de pénétrer, si bien que le sous-bois est nu et couvert d'aiguilles qui ne se décomposent pas pour enrichir le sol. En coupant quelques individus, nous favorisons la croissance des arbres les plus beaux et nous créons des puits de lumière. Ces clairières permettent la croissance d'un sous-bois et donc le retour d'un milieu plus équilibré. Sur ces placettes tests, nous avons eu la surprise de voir que non seulement le douglas se régénérait, mais que des feuillus s'implantaient également. Dans notre parcelle la plus évoluée, les douglas ont plus de 70 ans et cohabitent avec un sous-bois très diversifié.

Connaisseur hors pair de ce milieu, Jean-Pierre Galerne a initié notre journaliste aux secrets du célèbre massif. Au programme : la visite de trois réserves biologiques, à la découverte d'espèces parfois inattendues.

# Balade naturaliste à Fontainebleau

JACQUES-OLIVIER BARUCH

### FONTAINEBLEAU EN CHIFFRES

**22 000 hectares** (deuxième forêt domaniale de France)

**1062 hectares** de réserves biologiques intégrales

**1439 hectares** de réserves biologiques dirigées

**1500 kilomètres** de chemins (dont 400 kilomètres balisés)

**200** circuits d'escalade

**5 685** espèces végétales

**6 600** espèces animales

**Site classé**

**Forêt d'exception depuis 2012**

**Forêt de protection**

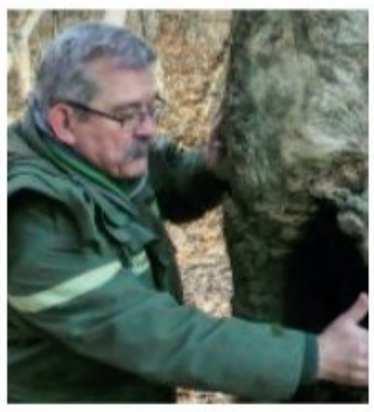
**Réserve de biosphère de l'Unesco**

**Site Natura 2000 Habitat, Espèces et Oiseaux**

L'hiver tire à sa fin, le soleil darde ses premiers rayons, il est temps de sortir de nos tanières. Bottes aux pieds, appareil photo en main, cache-col enroulé contre le froid… En route pour la forêt de Fontainebleau (Seine-et-Marne). Non pas en famille ou entre amis, mais avec un guide particulier : Jean-Pierre Galerne, 62 ans, technicien à l'Office national des forêts (ONF) et responsable des projets à l'agence de Fontainebleau. Ce fin connaisseur de la forêt, qui arbore avec fierté une belle moustache, est entré dans le métier il y a quarante ans, d'abord dans les Vosges puis à Melun avant de s'installer ici en 1992. C'est dans un lieu tout à fait original que mon guide m'emmène : la réserve biologique intégrale (RBI) du Chêne-Brûlé, qui s'étend sur 50 hectares, à quelques kilomètres à l'ouest de la ville. Elle reprend, en partie, le tracé d'une première réserve, dite artistique, créée en 1861 par Napoléon III à la demande des peintres de Barbizon, qui adoraient la forêt indomptée.

Aujourd'hui, Jean-Pierre Galerne pénètre à pas de loup dans cet univers protégé. Car aucune intrusion humaine n'y est permise, sauf celle des scientifiques et des techniciens de l'ONF, une à deux fois par an. C'est le principe d'une réserve intégrale : on y observe ce qui se passe quand on ne touche à rien. Comme l'avaient souhaité les peintres paysagistes, le chaos y règne. Des arbres morts jonchent le sol, surtout des chênes, mais aussi des hêtres et des charmes. *« Ils témoignent du cycle naturel de la forêt dans la région »*, remarque Jean-Pierre Galerne. Quand elle se densifie, les chênes, qui ont besoin de lumière, cèdent la place aux hêtres et aux charmes, amateurs d'ombre. S'ils tombent à leur tour, l'espace est colonisé par des graminées comme le roseau des bois (*Calamagrostis epigejos*), reconnaissable, ainsi que me l'apprend mon guide, à son plumeau et sa hauteur d'environ un mètre.

En ce matin frisquet, peu d'animaux se font entendre : quelques mésanges, merles et autres passereaux. D'autres ont laissé des traces. *« Ce houx et ces écorces de troncs mangés, ce sont des cerfs qui en sont la cause »*, remarque Jean-Pierre Galerne devant un houx racorni. Alors que dans les forêts exploitées, les chênes sont habituellement coupés au bout de cent quatre-vingts ans, mon guide me montre ici quelques sujets de presque trois siècles encore debout. Il m'explique qu'ailleurs, hors des zones protégées, la disparition des vieux arbres met certaines espèces animales en danger. C'est le cas, à Fontainebleau, du très rare taupin violacé (*Limoniscus violaceus*) et du scarabée pique-prune (*Osmoderma eremita*), la plus grosse des cétoines. Ce coléoptère, protégé depuis 1994 par la directive européenne Habitats faune flore, vit effectivement dans les grandes cavités de très vieux individus. Sédentaire, il est difficile à observer, de surcroît l'hiver, où il reste tapi au chaud.



JACQUES-OLIVIER BARUCH

**« Il est important de comprendre comment une forêt s'effondre quand elle n'est pas entretenue, et d'analyser la biodiversité unique qui en résulte »**

**Jean-Pierre Galerne,** responsable des projets à l'agence ONF de Fontainebleau

**Jean-Pierre Galerne, technicien à l'ONF,** visite la réserve intégrale du Chêne-Brûlé. Dans cet espace préservé de toute intervention humaine, les arbres ont ici cédé la place à des roseaux des bois.

Nous fouillons dans les creux des troncs… en vain.

## Quarante ans dans le sol avant de germer

*« La recherche constitue l'un des objectifs de ces RBI,* m'explique Jean-Pierre Galerne. *À côté de la préservation de l'écosystème et de la pédagogie à destination du public, bien entendu. Il est important de comprendre comment une forêt s'effondre quand elle n'est pas entretenue, et d'analyser la biodiversité unique qui en résulte. Par exemple, ce que deviennent les arbres morts »,* poursuit-il en désignant des amadouviers (*Fomes fomentarius*) qui semblent partir à l'assaut des troncs. Ces gros champignons ramollissent le bois avant que les bactéries ne le digèrent pour former l'humus qui va enrichir le sol.

OLIVIER GUTFREUND/BIOSPHOTO

**L'anémone pulsatille** est l'une des premières fleurs à s'ouvrir au printemps (ci-contre). **Même gamme de couleurs,** mais un port tout différent : la *Calluna vulgaris*, ou fausse bruyère, colonise Fontainebleau à la fin de l'été et régale les chevreuils et les chenilles de certains papillons.

SOLICHON/LEEMAGE

Au fil de la visite, Jean-Pierre Galerne peste en constatant que s'installent de nouvelles espèces invasives : cerisiers tardifs (*Prunus serotina*), dont les graines peuvent rester quarante ans dans le sol avant de germer, et raisins d'Amérique (*Phylotacca americana*), aux grappes de fruits violacés, dont la coupe accélère la propagation, car de multiples bourgeons surgissent alors. Autre envahisseur, l'ailante (*Ailanthus altissima*), importé de Chine au XVIIIe siècle, qui se plaît en lisière de forêt. Réserve intégrale oblige, Jean-Pierre Galerne n'en déracine aucun. *« On ne coupe rien ici, hormis les arbres qui sont en bord de route, pour des raisons de sécurité,* rappelle le forestier. *En revanche, dans d'autres réserves, dites dirigées (RBD) comme dans la plaine de Macherin, non* ●●●

●●● *loin de Barbizon, ou celle des Couleuvreux, au sud d'Arbonne-la-Forêt, nous intervenons pour conserver des espèces et des habitats naturels particuliers qui, autrement, pourraient disparaître.* »

Non loin de la réserve du Chêne-Brûlé, la plaine de Macherin, qui a subi un incendie en 1991, est un milieu dit ouvert : n'y poussent que quelques arbustes et arbres. Le sol est sablonneux, ce qui favorise des plantes tels les corynéphores argentés (*Corynephorus canescens*), mais aussi l'aubépine (*Crataegus monogyna*) et les prunelliers (*Prunus spinosa*). L'expansion rapide de ces arbrisseaux est toutefois contenue par une méthode originale : en convention avec l'ONF, un éleveur de la coopérative Les Champs des possibles y fait paître ses moutons. « *Au printemps et en été,* précise Jean-Pierre Galerne. *En hiver, ils s'en vont brouter des terrains plus riches.* » En avril, l'anémone pulsatille (*Pulsatilla vulgaris*) déploie ses belles fleurs violettes, suivie par les délicats rosiers pimprenelles, puis par les callunes (ou bruyères communes) caractéristiques d'un sol acide. Quelques arbres – des pins – ont été plantés au XIXe siècle. « *Le forestier avait alors horreur du vide,* raconte Jean-Pierre Galerne. *Et dans ce milieu silico-calcaire, cette essence était la seule à pousser.* » Toutefois, certains chênes parviennent à subsister. Pas question de les éradiquer malgré leur aspect chétif, car ils participent à la biodiversité du milieu.

## Huppes fasciées, alouettes lulu et fauvettes pitchou

La plaine de Macherin est le domaine des mésanges huppées (*Lophophanes cristatus*) ou à longue queue (*Aegithalos caudatus*), qui vivent dans ces arbres, mais aussi, plus rares dans la région, des huppes fasciées (*Upupa epops*), des alouettes lulu (*Lullula arborea*) et des fauvettes pitchou (*Sylvia undata*). Adaptées aux milieux ouverts, elles nichent au pied des buissons. Cependant, leur population diminue au profit des corneilles et des pies qui, elles, prolifèrent. « *C'est une tendance dans toute la forêt. Dans les années 1950, on recensait environ 180 couples d'oiseaux pour chacune de ces espèces. Aujourd'hui, ils ne sont plus qu'une cinquantaine.* » Dans cette réserve, on observe également le tarier pâtre (*Saxicola rubicola*) et la pie-grièche écorcheur (*Lanius collurio*), qui chasse au vol les gros coléoptères et les empale sur les épines d'arbustes avant de les décortiquer. Parfois, paraît-il, on croise aussi des engoulevents d'Europe (*Caprimulgus europaeus*) et même un couple de circaètes Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*). « *C'est celui qui niche le plus au nord de la France* », s'enorgueillit Jean-Pierre Galerne. Les deux rapaces se nourrissent de lézards mais aussi de serpents : couleuvre à collier ou d'Esculape, coronelle lisse, vipère aspic… « *Les vipères ne sont que très rarement dangereuses,* insiste Jean-Pierre Galerne. *Il doit y avoir un ou deux morts chaque année. La plupart du temps, elles fuient ou mordent sans injecter de venin, dont la production leur demande beaucoup d'énergie.* »

À quelques kilomètres de la plaine de Macherin, la route débouche sur une alternance de landes sèches et humides. C'est la réserve dirigée des Couleuvreux. Le sol se compose d'une couche de sable surmontée de grès. Cette roche imperméable, formée par l'agrégation du sable, est souvent fracturée, ce qui permet aux eaux de s'écouler, mais, par endroits, ces failles sont bouchées. L'eau stagne alors en surface, créant des mares.

**Le site de l'Association des naturalistes de la vallée du Loing :** https://www.anvl.fr/

**Le site de l'agence de l'ONF de Fontainebleau :** http://www1.onf.fr/enforet/fontainebleau/

LUIS CASIANO/NATURAGENCY

**Avec sa crête colorée** qu'elle peut déployer en éventail, la huppe fasciée est facilement identifiable.

## La dernière folie du grognard

Les parties les moins intéressantes de la forêt de Fontainebleau du point de vue de la sylviculture et même de la biodiversité sont aussi les plus prisées des randonneurs. Les douze sentiers Denecourt traversent ainsi des paysages spectaculaires, parsemés notamment de rochers. On doit leur tracé à Claude-François Denecourt (1788-1875), vétéran de la Grande Armée et, un temps, concierge de la caserne de Fontainebleau. Il a même aménagé, sur ses propres deniers, certains endroits, créant des fontaines ou maçonnant des grottes pour les sécuriser. À court de moyens, il promit d'en faire une dernière, la grotte dite du serment, où sont gravées à l'entrée comme à la sortie les initiales D.F.D. : « Dernière Folie Denecourt ». Il aménagera quelques années plus tard la « grotte du parjure » ! On peut les visiter, en veillant à ne pas les détériorer. Présente en forêt tous les week-ends de début avril à fin octobre, la brigade équestre de l'ONF assure la surveillance du massif, informe et sensibilise le public à la fragilité des milieux. Fonctionnaires assermentés, les forestiers peuvent aussi verbaliser les contrevenants en cas d'infraction. En quarante ans de service, Jean-Pierre Galerne l'a fait à trois reprises…

FRÉDÉRIC ESNAULT/NATURIMAGES

Comme à Macherin, la zone est régulièrement débroussaillée afin de conserver la biodiversité. Les callunes y côtoient des molinies, graminées des milieux acides et humides qui s'épanouissent au soleil. *« Depuis la dernière intervention en 2012, il y a aussi des jeunes pousses de pins*, remarque Jean-Pierre Galerne. *Il faudra y revenir avec des outils pour les enlever. »* L'humus, très moelleux sous nos pas, tapisse le grès. Parfois, on aperçoit les aiguilles colorées de la bruyère cendrée (*Erica cinerea*). Jean-Pierre Galerne ausculte diverses espèces de lichens, dont le cocktail de couleurs donne au paysage des teintes bleues, vertes et mauves. *« Ce sont les premiers végétaux qui colonisent un milieu, en s'ancrant dans la roche. »*

**Le grès de la réserve des Couleuvreux,** imperméable, favorise la formation de mares où prolifèrent les petits crustacés.

Au détour d'un sentier, apparaissent des flaques d'eau, des mardelles, avec leur faune de petits crustacés. Des buses y dénichent des rongeurs (martres, fouines), des bondrées apivores (*Pernis apivorus*), autres rapaces diurnes, y mangent des insectes. Les mares des Couleuvreux ne sont pas loin. La plupart, peu profondes, disparaissent au gré des saisons, d'autres sont permanentes. L'une d'elles, envahie par des saules, a été nettoyée il y a quelques années. Deux bénévoles de l'Association des naturalistes de la vallée du Loing (ANVL) et un ouvrier de l'ONF ont tout dénudé, faisant resurgir, l'année suivante, l'illécèbre verticillé (*Illecebrum verticillatum*), que l'on rencontre en bordure de mares. C'est une plante rare dans la région dont le nom commun, herbe aux panaris, indique que ses sucs étaient réputés pour soigner cette infection.

## Favoriser les plantes ou les chauves-souris ?

Par un chemin boueux, on accède à la mare aux *Luroniums natans*. Cette plante aquatique, inhabituelle en France, préfère les sols minéraux, sans matière organique. Ici, les luroniums – aussi appelés flûteaux nageants – ont éclos grâce à l'action des sangliers qui, en fouissant la mare asséchée, ont remis le sol à nu. Plus loin, vers la grande mare aux Couleuvreux, on entre dans une phragmitaie, une roselière composée de roseaux communs (*Phragmites australis*) et de baldingères (*Phalaris arundinacea*). L'arrachage d'une partie de ces végétaux permettrait de créer une zone d'eau libre favorable aux chauves-souris qui chassent à sa surface et s'y abreuvent. Que faut-il préférer ? Les mammifères volants ou les plantes ? Jean-Pierre Galerne n'a pas la réponse. Des sphaignes se cachent dans la saulaie qui colonise les bords de la mare. *« Quand on nettoie les bords, il faut faire attention à ne pas trop exposer ces mousses qui forment les tourbières. La sphaigne de Magellan, rare à Fontainebleau, a tendance à disparaître si on l'expose en pleine lumière. »* Beaucoup de travail attend Jean-Pierre Galerne, qui s'en inquiète car les crédits ne suivent pas *(lire aussi p. 26-33)*. Pourtant, dans les réserves, c'est tout un ensemble d'écosystèmes qu'il faut protéger : 5 685 espèces végétales, 6 600 animales. Encore de belles balades en perspective… et autant de découvertes. ■

**JACQUES-OLIVIER BARUCH**

Pour rafraîchir les agglomérations, qui sont autant d'îlots de chaleur, chercheurs et urbanistes multiplient les expérimentations. Leur priorité ? Adapter l'espace urbain à la végétation… et non l'inverse.

# Quand les villes se mettent au vert

JEAN-JACQUES BERNARD/SPLLYON PART-DIEU

Dix mille à Angers, 20 000 à Lille, 25 000 « minimum » à Marseille, ou encore… 170 000 à Paris. Les arbres ont poussé tout l'hiver dans les programmes des candidats aux municipales ! Insatiables capteurs de $CO_2$, ils sont surtout de puissants climatiseurs. Devant l'urgence, il faudrait en planter partout, dans les moindres interstices. Et vite. En 2016, l'OMS recommandait un verdissement maximum des villes, insistant sur l'action de la nature quant à la *« réduction potentielle de l'exposition à la pollution de l'air, au bruit et à la chaleur excessive »*.

Mais sur le terrain, la mise en œuvre de tels programmes ne coule pas de source. Le temps des politiques n'est pas le temps de l'arbre. Pour qu'il rende pleinement les services qu'on attend de lui, il lui faut des dizaines d'années devant lui, un accès à l'eau, de l'espace – sous terre et dans l'air –, des congénères, un environnement écologique… Radical, on peut choisir la méthode du botaniste japonais Akira Miyawaki *(lire l'encadré p. 41)*, qui promet une forêt naturelle en deux décennies. Plus modéré, on suivra les expériences menées à Angers, Paris ou Lyon. Depuis la canicule de 2003, en effet, les coups de chaud estivaux se succèdent et, dans les métropoles (75 % de la population française est urbaine), on suffoque. Pas même de pause nocturne : les façades absorbent le rayonnement solaire et restituent la chaleur quand on tente de dormir. En août dernier, onze degrés d'écart ont été mesurés entre le centre de Lyon et sa périphérie. *« La ville constitue ce que l'on appelle un îlot de chaleur,* confirme Marjorie Musy, chercheuse en climatologie urbaine au Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). *De même que la transpiration permet à un humain d'évacuer la chaleur et de réguler la température de son corps, il faut qu'elle transpire : les arbres, qui puisent l'eau du sol interceptent la pluie et l'humidité de l'air puis les rejettent par les feuilles grâce au phénomène d'évapotranspiration, peuvent être son régulateur. »*

Chacun peut l'expérimenter, conseille la chercheuse : il suffit de s'abriter sous un parasol puis sous un arbre pour mesurer la différence : ce dernier offre une ombre plus fraîche. *« L'air chaud, attiré par l'air froid, passe à travers les feuilles et baisse en température »*, explique-t-elle.

## Une ambiance de sous-bois au pied de la tour

L'arbre va-t-il sauver le citadin de la rôtissoire ? Certains le croient, qui n'hésitent pas à parler de forêts urbaines ! À Paris, des sites minéraux comme le parvis de l'Hôtel de Ville ou l'arrière de l'opéra Garnier pourraient voir pousser des bosquets, promesse de la maire, Anne Hidalgo. Clientélisme envers l'électorat bobo ? Ou véritable solution face au réchauffement ? L'annonce, en juin 2019, a plongé les observateurs dans l'étonnement, pour ne pas dire le scepticisme.

Pourtant, planter des arbres en ville dans le souci d'améliorer la vie des habitants n'est pas une idée nouvelle. *« Adolphe Alphand*

MARJORIE MUSY

**« La ville doit transpirer pour réguler sa température. Les arbres, qui puisent l'eau du sol et interceptent la pluie et l'humidité avant de les rejeter par évapotranspiration, peuvent être son régulateur »**

**Marjorie Musy,** chercheuse en climatologie urbaine

*(1817-1891), l'ingénieur de Napoléon III à qui l'on doit notamment la création du service des espaces verts dans la capitale, et Édouard André (1840-1911), jardinier paysagiste, évoquent déjà dans leurs textes leur action sur la qualité et la fraîcheur de l'air, la santé, le bien-être »,* rappelle Frédéric Ségur, directeur du service de l'Arbre et du Paysage de Lyon Métropole. Mais, au XX^e^ siècle, à mesure que la voiture s'impose, l'arbre devient encombrant, source de nuisances (saleté, ombre, danger pour la circulation…). Son lot : tailles sévères, coupes en moignons, abattage. *« Les habitants s'en inquiètent et des associations se forment. Certaines personnes s'enchaînent même aux troncs des condamnés lors de la construction du métro lyonnais dans les années 1970 »,* raconte Frédéric Ségur.

Ne risque-t-on pas aujourd'hui de tomber dans l'excès inverse en voulant en planter partout ? *« Il ne s'agit pas de remplir tous les espaces par idéologie ! »,* tempère Michel Desvigne. Le paysagiste, qui vient de remporter le concours pour la transformation du quartier de la tour Montparnasse, à Paris, prévoit, sur les onze hectares du projet, trois plantés serrés en une « forêt » de 1 500 sujets. À Tokyo, dans le quartier de Chiyoda, en 2013, il a déjà pu expérimenter la création d'une ambiance de sous-bois au pied de la flambant neuve tour Otemashi. Il a au préalable reconstitué une forêt d'essences locales à l'extérieur de la capitale, aux dimensions exactes du projet (3 600 mètres carrés, 200 sujets, dont le grand akagashi, le chêne vert japonais), comprenant toutes les strates : arbustes et arbres, terreau… Une fois les plantes acclimatées à leurs voisines, ce qui a pris plusieurs années, le tout a été transféré au pied de la tour. Ni vraiment place ni vraiment jardin, les lieux tiennent plutôt de la rue ombragée, où chacun circule entre les arbres pour aller au travail ou prendre le métro. Entre espaces urbain et forestier : une fusion réussie.

Aujourd'hui, Michel Desvigne et son équipe préparent des recommandations sur les projets de la Ville de Paris en matière de forêts urbaines. Selon lui, cette notion s'envisage à plusieurs échelles, chacune ayant sa valeur esthétique et écologique : *« Il y a les forêts de centre-ville, qui sont comme des jardins ; la forêt englobant toute la cité, avec son* ●●●

THIERRY FOURNIER / MÉTROPOLE DE LYON

**La rue Garibaldi, à Lyon,** conçue dans les années 1960 comme une autoroute urbaine (ci-contre), a connu une transformation spectaculaire : élargissement des trottoirs, création d'une piste cyclable et de voies réservées aux transports en commun et, surtout, plantation d'une diversité d'arbres qui les rend plus résistants, notamment aux maladies (ci-dessus).

**Caroline Mollie,** *Des arbres dans la ville,* Actes Sud, 2020

TARO ERNST

●●● *foisonnement de boisements divers ; et enfin, à l'échelle métropolitaine, les espaces où l'on peut planter des surfaces plus grandes, qui apportent un peu de fraîcheur aux villes proches.* »
Mais combien de degrés en moins ? À Angers, avec son équipe d'Agrocampus Ouest, la chercheuse Sophie Herpin essaye d'en avoir le cœur net. Pour cela, elle souhaite mesurer l'action de l'arbre sur la température, et inversement. « *Une sécheresse longue freine son développement, la surface foliaire diminue, il y a moins d'ombre*, expose-t-elle. *Les stomates (lire p. 65) se ferment, ce qui bloque l'évapotranspiration mais également la photosynthèse puisque la plante ne peut plus prélever le $CO_2$ dans l'atmosphère.* »
Pour quantifier ce phénomène, les chercheurs ont reconstitué une « rue-canyon » en modèle réduit. Un axe de 16 mètres de long et 2 de large, orienté nord-sud et bordé de murs blancs hauts de deux mètres. Dans sa longueur, la rue est divisée en trois : vide sur un tiers et peuplée d'un alignement de *Malus coccinella*, petits pommiers d'ornement en pot, sur les deux autres tiers. Une partie des arbustes sont arrosés, les autres soumis de manière récurrente à un stress hydrique. Fin de l'étude prévue pour octobre 2021.

En parallèle, les chercheurs peaufinent une modélisation numérique incorporant tous les cas de figure (largeur et hauteur de rue, vent, température…). « *Cet outil permettra de calculer le microclimat d'une rue*, projette la chercheuse. *Les aménageurs pourront ainsi orienter le choix des végétaux, et les jardiniers anticiper les besoins des arbres en eau. En les abreuvant au bon moment et à la juste dose, ils pourront actionner ces climatiseurs.* »
Mais, pour l'arbre, la plantation en alignement n'est pas idéale. Marine Linglart, écologue et directrice de l'agence Urban-Eco Scop, travaille dans le cadre de l'installation des infrastructures des Jeux olympiques de Paris. Selon elle, « *pour qu'il puisse être résilient, avec une certaine autonomie, il faut que le sujet vive parmi un assemblage d'essences, mais aussi au sein de toute une chaîne écologique, faune comprise* ». Elle préconise de créer des densités suffisantes pour procurer ombre et humidité nécessaires à la vie animale, et une superficie d'un hectare de forme plutôt ronde, de sorte que le centre reste à une distance égale et respectable de la lisière. « *Les espèces anthropophiles [qui vivent avec les humains, ndlr] régressent,* regrette-t-elle. *En ville, il y a de moins en moins d'interstices dans le bâti. Créer des forêts peut aider à faire revenir moineaux et mésanges par exemple. On plante beaucoup d'arbustes pour eux. Le problème, c'est que souvent, il manque leurs prédateurs, qui ne trouvent pas de lieu pour se reproduire.* » À vouloir favoriser une espèce, il ne faudrait pas que celle-ci se révèle invasive… Aussi, à la Courneuve, où se construit le village des médias pour les JO 2024, une bétulaie est en train de voir le jour : bouleaux donc, surtout, mais aussi ormes, charmes, merisiers… créent un habitat favorable au faucon crécerelle ou au hibou moyen-duc.

**Au pied de la tour Otemashi à Tokyo,** le paysagiste Michel Desvigne a planté une mini-forêt qui donne aux piétons l'impression de traverser un sous-bois.

**Cette rue modèle réduit** imaginée par des chercheurs d'Angers permet d'étudier les relations entre arbres et température. Elle est divisée en trois sections : l'une est vide, les deux autres plantées de pommiers d'ornement dont seuls certains sont arrosés selon leurs besoins.

AGROCAMPUS-OUEST ANGERS

## Supprimer le bitume pour que l'eau de pluie s'infiltre

Les arbres, comme les villes, ont aussi une vie *underground*. « *Pour les racines, les contraintes sont très importantes, surtout dans les quartiers centraux,* explique le directeur du cabinet d'études Sol Paysages, Xavier Marié. *C'est toute une histoire qui s'empile là-dessous : excavations, remblais, etc.* » Sans compter les réseaux d'eau, de gaz, d'électricité, les égouts, les lignes

de métro… « *En général, les arbres d'alignement sont plantés dans des fosses de 1,5 mètre de profondeur,* détaille ce spécialiste de la reconstitution de sols fertiles. *Ils sont arrosés pendant trois à cinq ans, et développent leurs racines dans cet espace confiné. Voilà pourquoi ils ne sont jamais très beaux et ne vivent guère plus de vingt ans.* »
Alors on teste de nouvelles techniques : des fosses de plantation comme une tranchée continue plutôt que des trous individuels, et surtout un substrat plus perméable et plus nourricier.
En la matière, dans les années 1990, des chercheurs de l'université d'Angers ont conçu l'équilibre idéal : un mélange terre-pierres (65 % de pierres entre 40 et 90 millimètres de diamètre, de la terre et du compost). En 2011-2015, à travers le programme Siterre, un collectif de chercheurs a affiné la technique, avec des pierres issues de chantiers locaux et une terre produite à partir du compostage des déchets verts des villes. « *Pour assurer développement et longévité à l'arbre, il faut aussi éviter d'enlever toute la matière organique (feuilles, branches mortes) qui tombe à son pied,* complète Laure Vidal-Beaudet, maîtresse de conférences à Agrocampus Ouest (Angers), spécialiste des sols artificiels. *Il est aussi important de désimperméabiliser les surfaces en supprimant le bitume, pour que la matière se décompose, mais aussi que l'eau de pluie s'infiltre. On estime qu'en milieu rural, à peine 15 % de la pluie ruisselle… contre 55 % en ville!* » Seul ce qui ne s'évapore pas s'infiltre. Une goutte d'eau.

À Lyon, la rue Garibaldi, ancienne autoroute urbaine qui vient d'être requalifiée, fait figure d'exemple. On y a gardé quelques anciens platanes épargnés par le chancre coloré, remplacé les autres par des essences variées. Terminé l'alignement monospécifique de sujets du même âge. On limite ainsi le risque de contagion en cas de maladie. Surtout, dans les passages automobiles souterrains creusés dans les années 1960, ont été installés des réservoirs qui collectent l'eau de pluie. À l'été 2019, on a pu y puiser suffisamment pour simuler une forte averse. Résultat, la température a baissé de près de 1 °C. Encourageant!

À l'échelle de Lyon Métropole, il y a longtemps qu'on se préoccupe du couvert forestier et de son « indice de canopée » (pourcentage de surface ombragée par les arbres). Une charte de l'arbre a vu le jour à la fin des années 1990, puis un plan Canopée intégrant la question du climat. Le projet s'inspire du concept d'*urban forestry,* né outre-Atlantique où, depuis l'après-guerre, on traite tous les arbres d'une ville comme « *une forêt diffuse, une savane* », explique Frédéric Ségur. Trois millions d'arbres ont été comptabilisés sur le territoire, l'objectif étant d'augmenter leur nombre de 10 % en dix ans.
Reste à savoir comment les espèces supporteront l'évolution du climat. Les arbres urbains trouveront-ils les moyens de résister? C'est une histoire qui est en train de s'écrire. ■

**VINCENT MOREL**

MARINE LINGLART

**« Pour être résilient et autonome, un arbre doit vivre parmi un assemblage d'essences, au sein de toute une chaîne écologique, faune comprise »**
**Marine Linglart,** écologue

## Les mini-forêts d'Akira Miyawaki

DR/EXTRAIT DE LA VIDEO « LEGEND OF THE FOREST »

**Le botaniste japonais** Akira Miyawaki.

**À Paris ou à Angers, les enforesteurs de tout poil, politiques et techniciens, n'ont qu'un nom à la bouche : Akira Miyawaki. Désireux de redonner vie aux forêts naturelles de son pays, mitées par l'urbanisation, ce botaniste japonais (92 ans aujourd'hui) a mis au point une méthode qui fait ses preuves. Le principe? Planter, même sur une surface réduite, de jeunes arbres sélectionnés parmi les essences indigènes à raison de trois pieds par mètre carré. S'en occuper pendant trois ans (arrosage, paillage, etc.). Puis laisser faire. Ces végétaux parfaitement adaptés à leur milieu croissent d'environ un mètre par an et forment une mini-forêt « vierge » qui atteint son état climacique (écologiquement stable) en une vingtaine d'années.**
**Au Japon, le botaniste revendique 1 300 sites transformés de la sorte. À travers l'entreprise Reforest'Action, Stéphane Hallaire est l'un des promoteurs de la méthode sous nos latitudes. En mars 2019, il l'a appliquée sur une parcelle de 700 mètres carrés sur les pelouses de Reuilly, à Paris. « *Cela marche encore mieux que prévu,* assure-t-il. *Dès septembre, nous avons dû enlever des sujets pour faire de la place : des robiniers que nous n'avions pas plantés étaient arrivés sur la parcelle. Tout un écosystème s'est mis en place.* » Les forêts Miyawaki ne peuvent cependant pas être plantées à n'importe quel carrefour. Elles doivent rester fermées au public pour éviter piétinement et tassement des sols. Et sont réservées aux espaces éloignés des habitations, les essences locales étant souvent allergisantes.**

# DE L'HISTOIRE À LA LÉGENDE

Depuis toujours, la forêt a deux visages. Inépuisable gisement de bois dont on fait les charpentes des cathédrales et les navires des flottes royales, réservoir de ressources vitales où puisent les paysans, elle est aussi le lieu du surnaturel et du sacré. De la fée Morgane aux elfes de Tolkien, les êtres qui la peuplent nous entraînent dans un autre monde, où tout est symbole.

**Chasse au cerf,** miniature d'un manuscrit du *Livre de la chasse de Gaston Phebus*, France, XV^e^ siècle.

BRIDGEMAN IMAGES/LEEMAGE

# La France, de la Gaule chevelue à **l'usine à bois**

Entre grands défrichements et reboisements, la forêt française a été façonnée en fonction des besoins. Préoccupations premières : produire du bois... et contrôler le territoire.

Nos ancêtres les Gaulois habitaient un pays couvert de bois denses et sombres »... Ce cliché, qui nous vient tout droit de Jules César, a récemment repris vigueur grâce à… Astérix. Pourtant, depuis quelques décennies, le travail des historiens tend à montrer qu'il faut en faire du petit bois. Non seulement les bosquets gaulois étaient plutôt clairsemés, mais le couvert forestier a rare-

**La tapisserie de la reine Mathilde,** qui relate la geste guerrière des Normands, détaille l'abattage des arbres pour la construction de la flotte destinée à conquérir l'Angleterre. XIe siècle.

COLLECTION DAGLI ORTI / MUSÉE DE LA TAPISSERIE DE BAYEUX GIANNI DAGLI ORTI / AURIMAGES

COURTESY ANDRÉE CORVOL

**« La forêt a profité du malheur des hommes, régressant quand la population augmentait, puis reconquérant ses positions »**

**Andrée Corvol,**
historienne, directrice de recherche au CNRS

ment occupé autant de surface qu'aujourd'hui en France : un tiers du territoire national !

C'est à partir du sud-est de l'Europe, il y a plus de 10 000 ans, que la forêt se développe à la faveur d'un réchauffement, s'imposant dans un paysage de steppes et de toundras. Le climat océanique favorise les feuillus, notamment les chênes. Dès le néolithique, vers 4 000 ans avant notre ère, les hommes commencent à la façonner, coupant des arbres, entrouvrant des espaces pour que l'herbe y pousse et que les animaux domestiques puissent s'y nourrir. Les feuilles fournissent l'alimentation du bétail et l'engrais. Les arbres donnent des fruits en toute saison, merises, cornouilles, alises, petites prunes aigres-douces. Et avec leur double coque, les fèves des hêtres, les glands des chênes et les châtaignes peuvent se conserver : la forêt devient indispensable aux hommes comme aux bêtes. Un système agro-sylvo-pastoral se met en place, qui dominera jusqu'au XIX^e siècle.

### À l'époque romaine, l'usage intense des bains exige une grande consommation d'arbres

*« Au sortir du néolithique, la forêt primaire n'existe déjà plus,* indique Andrée Corvol, historienne, directrice de recherche au CNRS, longtemps présidente du Groupe d'histoire des forêts françaises*. *L'homme a favorisé les essences qui l'intéressaient : les fruitiers et les bois blancs, dont le bouleau, qui dégagent rapidement de la chaleur et produisent beaucoup de cendres. La forêt se présente comme un immense espace d'arbres et de pâturages, avec quelques sujets énormes, très vieux car trop difficiles à couper à l'aide d'outils de pierre. Les champs sont défrichés par le feu, les cendres riches en potasse fertilisent la terre. Cette agriculture itinérante fonctionne aussi longtemps que la densité de population est faible. »*

Au temps des Gaulois, la surface cultivée est importante et, à l'époque romaine, la forêt reste claire. Le mode de vie des nouveaux maîtres de la Gaule, notamment leur usage intense des thermes et des bains, exige une grande consommation de bois. *« Les Romains ont été traumatisés par la forêt du nord-est de la France actuelle, sur laquelle ils se sont cassé les dents,* s'amuse Andrée Corvol. *Elle était marécageuse, une horreur pour les légions qui s'y enlisèrent et allèrent de défaite en défaite. César a insisté sur cette partie de la Gaule celto-germanique qui lui avait résisté. »* Et voilà pour le cliché de la « Gaule chevelue »...

Les grandes migrations des IV^e-V^e siècles entraînent le déclin des villes. Partout l'activité humaine reflue. La forêt tient sa revanche. *« Elle suit* ●●●

## Du bois dont on fait les mots...

Le latin employait trois mots pour désigner la forêt. *Lucus*, le bois sacré ; *nemus*, un ensemble d'arbres ordonné – sans dimension religieuse. Le mot ne s'est pas maintenu dans les évolutions du latin vers les différentes langues romanes ; et *silva*, pour qualifier une forêt, un bois ou un bosquet demeuré sauvage. On lui doit, à partir du XII^e siècle, le terme *selve* en français, puis *silve*, remplacé progressivement au Moyen Âge par forêt et bois. Les adjectifs *silvaticus* et *silvestris* ont donné respectivement *salvage* puis sauvage, et sylvestre, couvert de forêts, « qui vit dans les bois, qui n'est pas cultivé ». *Silva forestis* provient également du latin (de *forum*, « tribunal ») et nommait une forêt royale, le territoire de chasse réservé au roi. La première attestation de *forestis* a été trouvée dans un diplôme de Sigebert III, roi mérovingien fils de Dagobert, en 648. Les *forestarii*, corps spécial d'agents locaux, sont créés à cette époque. Le terme de *forest* s'étend ensuite aux domaines des seigneurs avant de désigner, à la fin du Moyen Âge, « une vaste étendue de terrain boisé », soit la définition de notre forêt. D'origine germanique, le mot bois provient, quant à lui, de *bosk*, « buisson ». *Boscus*, la forme latinisée, désigne à partir du IX^e siècle un terrain boisé. Mais également la matière de l'arbre.

**Carte de la forêt de Compiègne au XVIIIe siècle** exécutée dans le salon des Cartes du château de Compiègne, l'une des résidences préférées de Louis XV. Sous l'Ancien Régime, la chasse au gros gibier est une activité réservée aux seigneurs, possesseurs des bois. Peinture de Martin le Jeune, 1739.

AKG IMAGES / CDA / GUILLOT

●●● *un mouvement cyclique,* constate Andrée Corvol. *Elle régresse quand la population augmente, puis reconquiert ses positions. Elle profite du malheur des hommes ! »*

## Affouage, panage et marronnage… Des droits d'usage concédés aux paysans

Le Moyen Âge le confirme : à partir du XIIe siècle, alors que la démographie repart à la hausse, les hommes défrichent, améliorent les techniques agricoles. Pressoirs, meules, moulins demandent des bois forts qui poussent lentement, comme le chêne. La forêt se contracte de nouveau, et l'arbre devient une marchandise. Des personnalités comme l'abbé Suger (1080-1151), dont on raconte qu'il va lui-même choisir les chênes destinés à la reconstruction de l'abbaye de Saint-Denis, alertent sur la nécessité de le protéger.

C'est également à cette période que le pouvoir commence à en déléguer le contrôle. Les rois, dont les ancêtres francs avaient récupéré les terres de l'administration romaine, en concèdent une part à quelques grands vassaux qui y pratiquent la chasse et au clergé qui y construit des abbayes. *« Mais la conception de la propriété est alors différente,* signale Martine Chalvet, maîtresse de conférences à l'université Aix-Marseille, spécialiste de l'histoire de l'environnement. *Juridiquement, il y entre une notion d'usage. Le seigneur détient un pouvoir sur un bois, mais il doit généralement en partager la jouissance avec la communauté paysanne. »*

Ces droits d'usage comprennent l'affouage, ou ramassage du bois, le panage, c'est-à-dire celui de mener les porcs dans la chênaie, et le marronnage, ou l'autorisation de couper des perches pour fabriquer des piquets. Les paysans pouvaient également chasser les animaux nuisibles aux productions agricoles, rongeurs, putois, renards, belettes… mais pas n'importe comment ! *« De manière sournoise »,* disait-on, sans faire de bruit, en utilisant des pièges ou des filets. Les chasses supposant un glorieux combat entre l'homme et la bête, cerf ou sanglier, étant, elles, réservées aux seigneurs…

Mais les espaces forestiers diminuent, et le roi s'en inquiète. En 1318, Philippe V crée la maîtrise des Eaux et Forêts, embryon d'une administration chargée notamment de la conservation des bois. La guerre de Cent Ans (1337-1453) et la peste noire (1348) qui affectent la population offrent un répit de courte durée à la forêt. Au début du XVIe siècle, avec la conquête du Nouveau Monde et une nouvelle poussée démographique, elle redevient très sollicitée : il faut alimenter forges, hauts fourneaux et chantiers navals, la construction d'un navire exigeant la coupe de 3 000 à 4 000 chênes. Et les conflits s'intensifient entre les seigneurs, qui veulent limiter les droits d'usage, et les paysans pour qui la forêt est vitale.

Une forêt sur laquelle les monarques continuent à renforcer leur autorité. En 1537, François Ier, qui la veut emplie de gibier et rentable, règlemente la chasse et les coupes, limite la vente des arbres centenaires. *« L'espace forestier est essentiel pour l'économie et la politique dès l'époque médiévale,* décrit Martine Chalvet. *Et aux XVIe et XVIIe siècles, la peur du manque de bois s'exprime clairement dans les rapports des intendants et les législations royales. De nombreux règlements voient le jour avant les ordonnances de Colbert, mais ils ne sont pas appliqués, notamment en période de guerre. »* Le ministre de Louis XIV va se charger de mettre de l'ordre dans les lois forestières qui s'empilent depuis des siècles. En 1669, il édicte une ordonnance qui vise à diminuer, voire éteindre, les droits d'usage, en donnant la possibilité à l'État de les racheter afin que la forêt serve uniquement à produire du bois. La politique belliqueuse du Roi-Soleil est très gourmande : il faut des essences nobles résistant à la pression, comme les ormes ou les chênes, pour les fortifications et les navires de guerre. *« Les ordonnances de Colbert imposent de conserver plus d'arbres en futaie lors des coupes, ce qui aboutira à une spécificité française : le taillis sous futaie. Il comprend un étage inférieur, issu de la reproduction des souches, exploité à courte révolution (dix ans), et un étage dominant, constitué des futaies d'essences nobles qui dépassent quarante ans,* poursuit Andrée Corvol. *Avec ce système, les animaux disposent de moins en moins d'herbages pour se nourrir. La forêt est pensée comme une usine à arbres ! »*

**La rosace de la charpente du donjon** du Vieux-Château, à Laval. Selon l'analyse des cernes de croissance des chênes qui la composent, ces derniers ont probablement été mis en place au printemps 1222.

HERVÉ CHAMPOLLION / AKG-IMAGES

Le texte de Colbert protège surtout les chênes destinés à la construction navale, comme ceux de la forêt de Bercé dans la Sarthe. Les propriétaires doivent geler un quart des surfaces pour constituer des réserves. Le reste est découpé en parcelles où la rotation des coupes est obligatoire. *« Cela crée une belle pagaille,* note Andrée Corvol. *Les* ●●●

## Napoléon III, empereur des Landes

Élégantes et monotones, les étendues de pins marquent le paysage landais : privée à 90 %, la plus grande forêt artificielle d'Europe couvre 950 000 hectares. Le long des chemins, les empilements de grumes rappellent son objectif premier : produire des arbres destinés au bois d'œuvre… en quantité industrielle.

Il y a deux siècles, les Landes n'étaient pourtant qu'un vaste territoire semi-marécageux, brûlant en été et humide en hiver, où les bergers étaient contraints – l'image est devenue folklorique – de se hisser sur des échasses. Au XVIIIe siècle, déjà, l'ingénieur Nicolas Brémontier y planta de jeunes pins et sema genêts et ajoncs afin de fixer les dunes. Mais c'est à Napoléon III que la région doit sa métamorphose. En 1857, l'empereur édicte une loi relative à l'assainissement et à la mise en culture des Landes. Elle oblige communes et propriétaires à planter des pins maritimes, seule espèce rentable adaptée à la pauvreté du sol. Les bergers n'ont d'autre choix que de se transformer en résiniers. *« On saignait les pins pour récolter la résine,* raconte l'historienne Andrée Corvol. *Et grâce à la guerre de Sécession, aux États-Unis, le pin des Landes devint un "arbre d'or". Jusque-là, la résine provenait essentiellement de Virginie et de Louisiane. »* Chauffée à 100°, la résine de pin donne de la térébenthine ;

FRANÇOIS KOLLAR / ROGER-VIOLLET

**Récolte de la résine** dans les Landes, en 1931.

à 180°, de la colophane, utilisée dans la fabrication de colles, linos, savons, encres… Concurrencée par les dérivés du pétrole, elle déclinera à partir des années 1960, pour disparaître en 1990.

Entre-temps, en 1949, un gigantesque incendie détruit la moitié de la forêt et tue 82 personnes. Le massif est alors replanté en lignes entrecoupées de trouées créant des barrières naturelles, et parsemé de tours de guet et de voies d'accès pour les pompiers. Mais aujourd'hui, il craint surtout les tempêtes, comme Martin en 1999 et Klaus en 2009. Et malgré les améliorations génétiques, cette monoculture reste plus que jamais à la merci d'agents pathogènes. En 2012, une étude réalisée par le conseil régional d'Aquitaine et l'Inra a proposé des pistes à l'horizon 2050, comme la diversification des plantations. Mais elles ne se traduisent pas en actions, contrées par les résistances de la filière bois.

ROGER-VIOLLET

**Transport de grumes** en forêt de Tronçais (Allier) dans les années 1930. Extrait d'une série de photos, « La France travaille », du photographe François Kollar.

●●● *régions habituées à leur propre rythme de coupe n'acceptent pas cette mesure imposée par le pouvoir central. Nobles, marchands et paysans se retrouvent dans une même lutte. Il faudra quarante ans pour faire adopter ce code par les parlements de France et de Navarre. »*

## En 1820, le couvert forestier atteint son plus bas niveau : seulement 12% du territoire

En dépit de ces mesures, le mouvement de régression des forêts s'amplifie. Au XVIIIe siècle, avec les prémices de la révolution industrielle, l'arbre devient une ressource énergétique indispensable à l'essor économique. La métallurgie utilise le charbon de bois, le développement des villes induit des besoins de chauffage et de construction. Le chêne n'atteignant sa maturité qu'en cent à deux cents ans, les propriétaires choisissent des résineux à la croissance rapide, rentables en quarante à cinquante ans.

Le couvert forestier décroît pour atteindre son plus bas niveau en 1820, avec seulement 12 % du territoire. En 1827, sous la Restauration, Charles X promulgue un nouveau Code forestier qui limite très fortement les droits d'usage sur les propriétés domaniales et communales. Plus que jamais, la forêt est un enjeu entre les pauvres et les puissants ! Cette réglementation déclenche la guerre des Demoiselles en Ariège, de 1829 à 1832 *(lire aussi p. 55)*. Les paysans, portant des perruques et de longues chemises blanches, le visage noirci de suie, attaquent les grands propriétaires, les gardes ou les maîtres de forge, harcèlent les autorités. Ultime réaction de défense du système agro-sylvo-pastoral pyrénéen contre un modèle économique tourné vers l'industrie.

**Martine Chalvet,** *Une histoire de la forêt*, Seuil, 2011

**Andrée Corvol,** *L'Arbre en Occident*, Fayard, 2009

**Andrée Corvol,** *L'Homme aux bois*, Fayard, 2014

**Gustave Huffel,** *Histoire des forêts françaises*, Institut pour le développement forestier, 2019

**Sylvie Bépoix, Hervé Richard,** *La Forêt au Moyen Âge*, Les Belles Lettres, 2019

**Le site du Groupe d'histoire des forêts françaises :** https://ghff.hypotheses.org/

L'arrivée des nouvelles énergies, charbon, gaz, électricité, pétrole, change les usages de la forêt. Depuis la Révolution, elle est essentiellement entre des mains privées. *« Ces propriétaires pensent les aménagements en terme de rentabilité,* explique Martine Chalvet. *Les pins des Landes fournissent de la résine, les chênes-lièges du Var des bouchons, les grands chênes de Bercé de longues planches bien droites pour la construction navale. »*

Parallèlement émerge un discours « pré-écologique », d'abord à l'Université, puis dans l'administration des Eaux et Forêts : l'arbre est au cœur de l'interaction entre les êtres vivants, le climat et le sol. Les crues et inondations qui se produisent entre 1840 et 1856 frappent les esprits. Avec les lois de 1860-1864 sur le reboisement des montagnes puis celle de 1882 sur la restauration des terrains d'altitude, les Alpes, le Jura, les Vosges reprennent des couleurs. Mais aussi le mont Ventoux, tout pelé à l'époque car ponctionné depuis des siècles pour les chantiers navals de Toulon, saigné par les coupes claires pour permettre le passage des troupeaux de moutons. Des chênes truffiers, des pins et des cèdres de l'Atlas y sont plantés. *« Aujourd'hui, il abrite une superbe forêt. Elle donne l'image d'un environnement naturel, mais il s'agit d'une construction humaine »*, souligne Martine Chalvet. Ces politiques volontaristes, qui s'amplifieront tout au long du XXe siècle, récolteront leurs fruits : entre 1850 et 2019, la superficie du couvert forestier double en France. Aujourd'hui, la Gaule n'a jamais été si chevelue !

**SYLVIE BRIET**

* Le Groupe d'histoire des forêts françaises (GHFF) fait travailler ensemble toutes les disciplines sur des problématiques d'aujourd'hui. Il réunit des universitaires, des ingénieurs, des associations, des propriétaires.

Colbert en 1669, puis Buffévent en 1832 ont reconstitué cette chênaie alors « estropiée »… aujourd'hui l'une des plus belles d'Europe.

# Tronçais, deux fois ressuscitée

**Dans la futaie Colbert** de la forêt de Tronçais. La plus grande chênaie d'Europe est aujourd'hui une réserve naturelle.

PHOTO : JÉRÔME CHABANNE \ HANS LUCAS

Elle est souvent citée comme le joyau du patrimoine forestier français. Ses splendides chênes sessiles – dont le plus haut atteint 47,50 mètres – et la qualité de ses bois lui ont valu en 2018 le label « forêt d'exception » décerné par l'ONF. Pourtant, Tronçais revient de loin. Ce massif de 10 500 hectares, situé au nord-ouest de l'Allier, a même failli ne jamais connaître le XXIe siècle…

Il entre dans l'histoire avec Colbert, lorsque celui-ci décide de recenser les biens de la Couronne. À partir de 1661, il y mande des commissaires et des cartographes qui délimitent pour la première fois ces bois devenus propriété royale sous François Ier. « *Jusqu'au XVIIe siècle, personne n'avait l'idée de préserver la ressource*, rappelle Loïc Nicolas, responsable de l'unité territoriale de Tronçais à l'ONF. *Les paysans venaient y puiser ce qu'ils voulaient.* » Des droits d'usage qui se maintiendront ici jusqu'en… 1953.

Les enquêteurs dressent un constat tellement alarmant que le ministre de Louis XIV interdit toute coupe sur la partie centrale, qui deviendra la futaie Colbert, aujourd'hui classée réserve biologique. Des chênes sont plantés pour reconstituer la futaie.

Mais dans les années 1780, Nicolas Rambourg, un industriel lorrain, installe trois forges au cœur du massif et creuse des étangs pour les alimenter. En 1830, à la fin de la concession, les bois sont au plus mal. Entre alors en scène celui qui sera le vrai sauveur de Tronçais : Théophile de Buffévent, formé à la toute jeune école forestière de Nancy. Pour cette forêt, qu'il qualifie d'« *estropiée* », il décide de planifier une reconstitution sur deux siècles, favorise la régénération naturelle, impose des futaies régulières, crée des pépinières, fait des semis. « *Aujourd'hui, je travaille toujours avec ces arbres,* sourit Loïc Nicolas. *Les promeneurs pensent arpenter la futaie de Colbert, mais pas du tout ! C'est une forêt reconstituée, dont les individus ont 180 à 200 ans. Seuls 13 hectares ont connu les réformateurs de Colbert. Et les quelques chênes qui arrivent sur leurs 450 ans montrent des signes de faiblesse.* »

Avec le XIXe siècle se développe la viticulture et les bois de Tronçais, à la croissance lente, fine et régulière, deviennent très recherchés : ils fournissent des merrains, des planches coupées dans le sens de la fibre, utilisées dans la fabrication des fûts dans lesquels reposeront les plus grands vins et des spiritueux comme le cognac. La commune de Cérilly, qui borde Tronçais, possède encore des merranderies qui transforment le bois en merrains, envoyés ensuite aux tonneliers. Véritables produits de luxe, les tonneaux labellisés Tronçais s'exportent dans le monde entier : vers l'Australie, l'Argentine, la Californie… Les chênes sessiles, moins tanniques que les pédonculés, donnent au fût un boisé au caractère vanillé ! Tronçais sauvée affiche une belle santé, mais comment favoriser les essences qui s'adapteront le mieux aux variations climatiques ? Loïc Nicolas se montre confiant… jusqu'à un certain point : « *Mes chênes peuvent s'adapter, mais sûrement pas à une augmentation de 5°C !* »

**SYLVIE BRIET**

COURTESY LOÏC NICOLAS

**« Les promeneurs pensent arpenter la futaie de Colbert, mais pas du tout ! Seuls 13 hectares remontent à cette époque »**

**Loïc Nicolas,** responsable de l'unité territoriale de Tronçais à l'ONF

Nymphes des récits antiques, fées des contes de Grimm, elfes du *Seigneur des Anneaux*... Hantée par des êtres surnaturels, la forêt mythique menace ou protège. Un espace sauvage où peuvent survenir toutes les aventures.

# L'inquiétant royaume du merveilleux

*La pauvre enfant était toute seule dans les grands bois et avait si grand-peur qu'elle regardait toutes les feuilles des arbres et ne savait à quel saint se vouer. Alors elle se mit à courir sur les cailloux et à travers les ronces [...] elle vit une petite maison et y entra pour se reposer. Dans la cabane, tout était petit, mais si mignon et si propre qu'on ne saurait en donner une idée...* »
Dans cet extrait de *Blanche-Neige* (1812) des frères Grimm où l'héroïne fuit le chasseur envoyé par sa belle-mère pour la tuer, une forêt angoissante offre finalement un refuge rassurant : la maisonnette des sept nains. Voilà qui pourrait résumer l'ambivalence de l'univers sylvestre dans les mythes, contes et autres récits légendaires occidentaux : peuplé d'une faune indomptée ou d'êtres surnaturels, la forêt est tour à tour un espace sacré, obscur et intime. Le danger et l'aventure n'y sont jamais loin...

Mais c'est aussi l'opposé de la civilisation, comme dans la Grèce antique. « *Dans l'imaginaire grec, elle appartient aux marges de la cité et renferme une part de sauvagerie, abritant monstres et autres créatures mythiques* », souligne Stéphane Lamouille, historien à l'université Toulouse Jean-Jaurès. Des êtres peu rassurants, telles les dryades, ces nymphes des chênaies qui, précise le chercheur, « *s'avèrent redoutables envers quiconque touche à leur arbre* », ou les centaures, hôtes mi-hommes mi-chevaux des forêts de Thessalie qui se nourrissent de chair crue. Comme bien d'autres peuples (Celtes, Germains, Romains...), les Grecs ont par ailleurs leurs « bois sacrés », bosquets où se pratiquent offrandes et consultations oraculaires, qui leur inspirent une crainte respectueuse liée à la présence des divinités. Dans *Œdipe à Colone* (401 av. J.-C.), le héros âgé et aveugle vient, sans le savoir, se reposer dans un tel lieu sacré, « *qu'il n'est pas permis de fouler* », nous dit Sophocle, demeure des Euménides, « *terribles déesses* » vengeresses.

Chez les Romains, la *silva* – d'où vient le terme français « sauvage » – n'est pas moins inquiétante. D'une part, elle sert de refuge aux esclaves en fuite et aux brigands. D'autre part, aux marges de l'Empire, s'étendent les immenses et terrifiantes forêts de Germanie, où les légions impériales subissent bien des déboires... Mais c'est aussi un territoire originel mythique. « *Chez*

STÉPHANE LAMOUILLE

**« Dans l'imaginaire grec, elle appartient aux marges de la cité et renferme une part de sauvagerie, abritant monstres et autres créatures mythiques »**

**Stéphane Lamouille,** historien à l'université Toulouse Jean-Jaurès

EVERETT COLLECTION / AURIMAGES

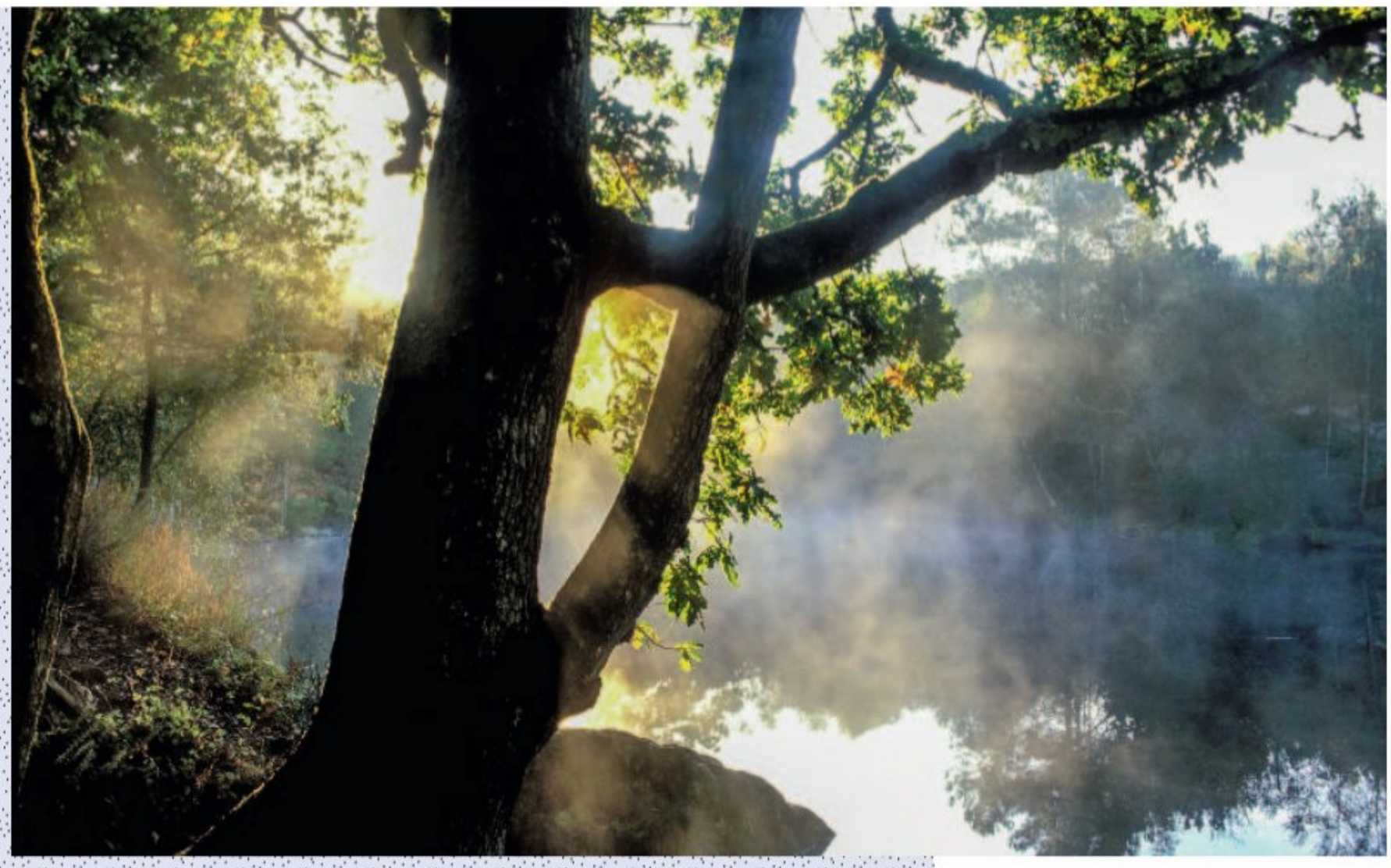
*Virgile, la* silva *est la personnification d'un espace étrange qui précède la civilisation »,* souligne Marie-Claude Charpentier, chercheuse à l'Institut des sciences et techniques de l'Antiquité (Ista) de l'université de Franche-Comté. Au chant VIII de son *Énéide* (19 av. J.-C.), le poète latin raconte que dans les bois du Latium habitaient *« les Faunes* [divinités à cornes et sabots de bouc, comparables aux satyres grecs] *et les Nymphes indigènes, ainsi qu'une race d'hommes nés du tronc des chênes durs, êtres sans coutumes ni culture ».* D'après la légende, c'est dans une clairière de ces bois que naîtra la ville de Rome, fondée par Romulus, l'enfant abandonné recueilli par une louve, qui grandit dans la forêt avec son frère Remus. Les Romains ont par ailleurs consacré plusieurs temples à Sylvanus, dieu des frontières sacrées entre le monde cultivé et le monde sauvage. Ses traits sont ceux d'un vieillard couronné de lierre, mais qu'on ne se fie pas aux apparences : les voyageurs craignent sa malice et son courroux ! Il est souvent assimilé à Faunus – qui incarne une ruralité inquiétante, en opposition au monde urbain – voire à Bacchus, l'équivalent de Dionysos, dieu grec du vin, des bocages et des bois. *« C'est dans la forêt que Dionysos choisit de conduire les Ménades, ces femmes exaltées par la folie qui les saisit »,* raconte la chercheuse. Tout peut arriver sur ces terres sauvages !

Dans les forêts des fictions médiévales, espaces tout autant imprévisibles, tout est symbole. Sublime fée, biche douée de parole, sanglier ou cerf blanc, fontaine bouillonnante déclenchant des orages… Peuplés de créatures fabuleuses et d'enchantements, mani- ●●●

**C'est l'histoire sylvestre de Blanche-Neige** que Walt Disney choisit pour son premier long-métrage d'animation, sorti en 1937.

# Brocéliande, cœur du monde arthurien

**Légendaire depuis le Moyen Âge grâce aux aventures du roi Arthur, la forêt de Brocéliande n'est pas que fiction littéraire : elle a aussi une réalité géographique. Pour preuve, elle se visite ! Et ce depuis le XIXe siècle, où elle fut localisée dans la forêt de Paimpont, entre Rennes et Vannes. À cette époque, des érudits s'échinent à identifier les sites majeurs du cycle arthurien. C'est ainsi que le « tombeau de Merlin », sépulture mégalithique en schiste pourpre, est « découvert » en 1820 par J.C.D Poignand, un passionné d'antiquités celtiques convaincu que le magicien et Arthur sont des personnages historiques médiévaux. Cette chambre funéraire en ruines est en réalité une allée couverte – un type particulier de dolmen – bien antérieure au Moyen Âge… Dans les années 1980, elle sera datée par l'archéologue Jacques Briard : entre 2500 et 2000 avant J.-C. De même pour l'Hôtié – ou Maison – de Viviane (fée et compagne de Merlin), autre sépulture mégalithique située à quelques kilomètres au sud-ouest, mentionnée pour la première fois par l'érudit Félix Bellamy en 1896 : deux campagnes de fouilles, menées en 1982 et 1983 par Briard, permettront de dater ce monument très original entre 3300 et 2800 avant J.-C. En 1824, un autre site arthurien avait été désigné dans la forêt de Paimpont, près du tombeau de Merlin : il s'agit du Val sans retour, enchanté par la fée Morgane, demi-sœur du roi Arthur et disciple de Merlin. Selon le *Lancelot propre*, œuvre anonyme en prose du début du XIIIe siècle, tout chevalier infidèle à sa dame qui s'y aventurait en devenait aussitôt prisonnier. À partir de 1843, on lui préférera toutefois un autre emplacement, près de l'Hôtié de Viviane.**



RABOUAN JEAN-BAPTISTE/HEMIS.FR

**Le Val sans retour,** réputé être le domaine enchanté de la fée Morgane.

**Mais le site le plus important est certainement la fontaine de Barenton, car il correspond bien à la description des auteurs du cycle arthurien. Au XIIe siècle, l'historien normand Wace est le premier à mentionner, dans son *Roman de Rou,* la *« fontaine de Berenton »* ayant, selon les Bretons, le pouvoir de faire venir la pluie en forêt de *« Brecheliant »*. Son contemporain Chrétien de Troyes, fondateur de la littérature arthurienne en français, s'en inspire. À la différence près que, dans son *Yvain* (écrit vers 1176), c'est une tempête cataclysmique que provoquent des chevaliers de la Table ronde lorsqu'ils répandent sur le sol l'eau de la fontaine merveilleuse de *« Brocheliande »* ! Le poète ajoute un détail à son descriptif du lieu : *« Tu verras la fontaine qui bout, et qui est pourtant plus froide que du marbre. »* Or, par moments, de grosses bulles d'azote et de gaz carbonique remontent à la surface de la fontaine de Barenton, troublant son eau fraîche… Il est donc probable que certains auteurs du cycle arthurien aient imaginé Brocéliande à partir de lieux emblématiques de la forêt de Paimpont. Un autre mythe est d'ailleurs bien présent au XIe siècle : celui d'une grande forêt primitive – Brécilien ou Brécelien – couvrant le centre de la péninsule armoricaine. Mythe renforcé, au XIXe siècle, par certains écrivains romantiques, dont Chateaubriand, qui la confondent avec la Brocéliande arthurienne. Aujourd'hui, le légendaire est si ancré sur le massif de Paimpont que les scientifiques de la station de biologie (université Rennes 1) qui étudient ses 17 hectares l'ont intégré : *« Nous prenons part au projet Agir pour la biodiversité en Brocéliande, une sorte d'atlas de la biodiversité locale,* explique Régis Supper, responsable de la station. *Nous avons par ailleurs une programmation annuelle autour de la culture scientifique.* » Une terre de légendes… et de science !**

**MORGANE KERGOAT**

**Hélène Gallé et Danielle Quéruel,** *« La forêt dans la littérature médiévale » in La Forêt au Moyen Âge,* Sylvie Bépoix et Hervé Richard (dir.), Les Belles Lettres, 2019

**Cristina Noacco et Sophie Duhem (dir.),** *L'Homme sauvage dans les lettres et les arts,* Presses universitaires de Rennes, 2018

**Marie-Claude Charpentier (dir.),** *Les Espaces du sauvage dans le monde antique,* Presses universitaires de Franche-Comté, 2004

**Marie-Agnès Thirard,** *La Forêt magique des contes*, 2007, http://lijos-recherche.fr/foret-magique-contes/

●●● festations d'un merveilleux d'origine celtique, les bois des chansons de geste et romans médiévaux sont l'espace d'un « autre monde » féérique où le temps s'écoule différemment. Le héros peut y rencontrer l'amour, tel le chevalier Guingamor dans le lai éponyme de Marie de France (XII^e siècle). Celui-ci croit passer trois jours aux côtés d'une ravissante jeune fille – une fée, évidemment – quand trois cents ans se sont en réalité écoulés !

Mais souvent, l'aventure est plus périlleuse que galante et les dangers, moins surnaturels que bien humains. Telle cette demoiselle sournoise qui indique à Lancelot *« un sentier qui s'enfonce dans la forêt »* pour mieux le livrer à cinq complices, dans *Le Haut Livre du Graal*, roman anonyme du XIII^e siècle. Les héroïnes y sont menacées par des chevaliers brutaux prêts à assouvir leurs pulsions, ou s'égarent dans la nuit, terrifiées par les bêtes sauvages.

Si ces dernières les protègent parfois, dans une perspective chrétienne, elles incarnent le mal, tels les ours et léopards dans la légende de Berthe au grand pied, que l'on connaît par la chanson de geste éponyme (XIII^e siècle), ou les serpents, crapauds et autres lézards que chasse en priant le héros du *Moniage Guillaume* (XII^e siècle). *« Il s'agit d'écarter le démon d'un lieu sauvage pour faire entrer la foi et l'harmonie dans un paysage qu'on civilise »*, explique Hélène Gallé, maîtresse de conférences à l'université de Franche-Comté. Car la forêt est le territoire à christianiser par excellence. Dans le même esprit, les hagiographies abondent en saints apprivoisant des animaux sylvestres. Ainsi de Corbinien, dont la vie a été contée en 769 par Arbeo, évêque de Freising : un ours – animal chargé de tous les péchés – dévore son cheval à la lisière d'un bois mais, telle une bête de somme, il portera finalement son bagage jusqu'à Rome ! Ces récits à visée évangélisatrice manifestent la toute-puissance divine sur cet espace sauvage.

BRITISH LIBRARY BOARD/ROBANA/LEEMAGE

**Le chevalier Perceval** arrive chez un ermite, qui l'aidera dans sa quête du Graal. Hôte des bois, l'ermite manifeste la présence de Dieu dans cet espace sauvage. Miniature tirée du *Roman du Saint Graal* de Robert de Boron, vers 1300-1315.

HÉLÈNE GALLÉ

**« Dans son ignorance, l'homme s'égare dans le monde comme dans la forêt. L'ermite sait le remettre sur le droit chemin »**

**Hélène Gallé,** maîtresse de conférences à l'université de Franche-Comté

## Fantasmes érotiques teintés de sado-masochisme

Toute-puissance qui résonne aussi dans les forêts des romans arthuriens à travers la figure récurrente de l'ermite, homme de foi qui sert Dieu en défrichant, faisant entrer la lumière dans l'obscurité de la sylve. Dans *Le Roman du Graal* (vers 1181) de Chrétien de Troyes, c'est aussi grâce à ce guide spirituel que Perceval, héros déboussolé, obtient des réponses à ses questions et relance sa quête. *« À la fois saints et sages, les ermites comprennent ce que le commun des mortels ne saurait comprendre*, souligne Hélène Gallé. *Ils connaissent le passé, savent interpréter les rêves, démêler le vrai du faux. Dans son ignorance, l'homme s'égare dans le monde comme dans la forêt ; l'ermite, qui connaît ce milieu, sait le remettre sur le droit chemin. »*

Ni ermite ni ours n'attendent les héros des légendes nordiques, mais des hôtes des bois bien plus terrifiants : les trolls ! Ces géants personnifiant les forces de la nature peuplent les sagas scandinaves des XII^e-XIII^e siècles. Ils affectionnent l'obscurité des grottes, sont capables de déraciner des arbres et… apprécient la chair humaine. Sensibles à la beauté, ces créatures d'une extrême laideur enlèvent volontiers princesses et charmants bambins. *« Suite à la christianisation des pays scandinaves (fin du X^e siècle – début du XI^e siècle), le troll devient l'incarnation du diable*, souligne Annelie Jarl Ireman, maîtresse de conférences en études nordiques à l'université de Caen-Normandie. *Le héros chrétien – souvent un pauvre jeune homme issu du peuple – doit l'affronter et le tuer. Pour combattre le mal, mais aussi pour s'élever dans la société car en volant le trésor du troll, il peut améliorer sa vie ! »* Des siècles plus tard, trolls et lutins malicieux deviendront des créatures inoffensives et sympathiques, symbolisant le bien et la conscience écologique.

Loin des trolls hideux, c'est un air licencieux qui souffle sur les forêts des contes français du XVII^e siècle. À travers le motif de la métamorphose animale s'y expriment des fantasmes érotiques teintés de sado-masochisme. *« Un libertinage voilé qui contourne la censure,* précise Marie-Agnès Thirard, professeur émérite de littérature française à l'université de Lille, *même si les lecteurs lettrés n'étaient pas dupes ! »*

## Sorcières chez les frères Grimm, bonnes fées chez Perrault

Exemple révélateur : *La Biche au bois* de la baronne d'Aulnoy (1650-1705). Biche le jour, femme la nuit, la princesse Désirée est traquée en forêt par le prince Guerrier, tombé amoureux de ce bel animal qu'il caresse et prend même *« entre ses bras »*. Mais quand cette *« petite volage »* s'échappe, il lui *« enfonce une flèche dans la jambe »*, motif de la *« blessure d'amour »* ●●●

●●● hérité de l'amour courtois – la faisant saigner *« avec abondance »*. Défloration symbolique pour Désirée qui, nous dit la malicieuse conteuse, *« ne pouvait s'empêcher d'aimer un mal qui lui procurait tant de bien »*. Plus pervers : le prince attache la biche *« avec plusieurs rubans au pied d'un arbre »* et la pauvre manque *« s'étrangler avec un nœud coulant »* ! De même, si dans les bois et forêts des contes de Charles Perrault (1628-1703), les héros s'égarent (*Le Petit Poucet*) ou sont destinés à trouver l'amour (*La Belle au bois dormant),* l'initiation sexuelle n'est pas absente. Avec une subtilité dans le non-dit. *« Avant d'entrer dans la maison des bois, le Petit Chaperon rouge remarque bien la voix bizarre de sa grand-mère,* souligne Marie-Agnès Thirard. *Pourtant il entre, sachant qu'il risque d'être mangé… dans tous les sens du terme ! »*

Loin du rationalisme des Lumières, les forêts deviennent, au XIXe siècle, l'expression privilégiée de la sensibilité romantique ; et les bois mystérieux des légendes médiévales, hantés par le surnaturel, sont remis au goût du jour. *« Chez les frères Grimm, l'espace initiatique où chemine le héros se double d'un imaginaire national,* explique François Fièvre, historien d'art. *La forêt devient le lieu de résistance de l'identité allemande au moment où le pays cherche à dépasser son morcellement politique suite aux conquêtes de Napoléon. »* Les Grimm peuplent ainsi leurs contes de créatures du folklore germanique (lutins, sorcières, nains…), fuyant l'esthétique précieuse du conte français à la Perrault… et ses bonnes fées !

Plus près de nous, qui mieux que J.R.R. Tolkien (1892-1973), précurseur de la *fantasy* moderne et spécialiste de littérature médiévale, a célébré un espace sylvestre teinté de nostalgie, lieu d'un âge d'or mythique ? Réinterprétant le motif celtique de l'autre monde féérique, cet amoureux de la nature recouvre sa « Terre du Milieu » – cadre imaginaire du *Hobbit* (1937) et de sa trilogie du *Seigneur des anneaux* (1954-1955) – de forêts archaïques. Peuplées d'elfes raffinés et d'Ents, de très anciennes créatures-arbres, elles apparaissent comme de véritables êtres vivants. Mais le Mal y rôde aussi sous la forme de monstrueuses araignées. Un univers qui séduit toujours à notre époque où la forêt n'est plus guère associée au merveilleux, au sacré ou au mystère, mais à un territoire balisé, où les citadins en quête d'air pur et de paix de l'esprit aiment venir se ressourcer. ■ **LAUREEN BOUYSSOU**

## La mue du chevalier, le soir au fond des bois

GRANGER/GLITCART/AURIMAGES

Dans *Yvain* de Chrétien de Troyes (vers 1177), le chevalier, emporté par ses aventures, oublie de revenir à temps auprès de sa dame. Lorsqu'il réalise qu'elle ne lui pardonnera pas cette offense, sa raison défaille : il s'enfonce dans la forêt et vit nu, dévorant de la venaison crue. *« La forêt sauvage symbolise sa déchéance chevaleresque ; sa folie a une dimension pénitentielle »*, souligne Hélène Gallé. *« Le passage par la vie sauvage permet à Yvain d'incarner l'homme dans toute sa complexité et sa fragilité*, ajoute Cristina Noacco, maîtresse de conférences à l'université Toulouse Jean-Jaurès. *Ce n'est qu'à ce prix qu'il peut regagner sa place à la cour et dans le cœur de sa dame. »* Cette figure de l'être sauvage permet à l'homme médiéval de se définir *a contrario*. *« Elle montre la nécessité de l'éducation pour ne pas sombrer dans un comportement bestial »*, explique la chercheuse.

Mais il y a plus extraordinaire. Dans *Bisclavret* (vers 1160) de Marie de France, un chevalier devient garou trois nuits par semaine, vivant nu *« au plus profond [d'un] bois »*. *« Cette métamorphose lui permet de canaliser son instinct animal, incarné par la forêt, lieu de désordre »*, analyse Cristina Noacco. Pressé par sa femme, le héros lui révèle son secret. Terrifiée, elle lui vole ses vêtements, le condamnant à errer dans la forêt. Mais le roi la contraint à les rendre à son mari, et celui-ci retrouve forme humaine. Un garou qui, ici, n'a rien de malfaisant. *« Composé de raison et d'instinct, il est tout simplement humain »*, conclut la chercheuse.

**Yvain, le chevalier au lion,** pénétrant dans la forêt. Le personnage imaginé par Chrétien de Troyes symbolise l'homme dans toute sa complexité. Fresque du XIIIe s.

**JEAN-BAPTISTE VIDALOU**
Philosophe, bâtisseur en pierres sèches

# « Un refuge qui permet de faire sécession »

Lieu en marge, la forêt est aussi point de passage, abritant des populations qui incarnent diverses formes de rupture ou de rébellion. Aujourd'hui plus que jamais, elle implique un autre rapport au monde.

COURTESY J.-B. VIDALOU

**En quoi la forêt est-elle un terrain propice à la résistance ?**
La forêt est une zone d'opacité, elle est difficilement praticable, donc propice à la fuite. Pour les marrons, nom des esclaves qui ont fui les plantations dans les Caraïbes, l'Amazonie, la Guyane ou le Sud des États-Unis, elle offre un refuge en même temps qu'elle constitue un lieu de vie privilégié. Elle permet de trouver un abri et de se camoufler, de faire sécession, car sa géographie accidentée s'oppose radicalement à l'espace contrôlé de la plantation. Les forêts, les montagnes, les marais, les zones côtières, tout ce qui représente une forme de lisière entre le sauvage et le civilisé sont des formes d'hétérotopies, d'espaces autres, qui débordent le territoire contrôlé du pouvoir.
L'imaginaire impérial de Rome s'est ainsi constitué contre les forêts, qui offraient refuge à des sociétés considérées comme « subalternes », en les rasant pour empêcher les rébellions d'attaquer à partir d'elles.

**Les groupes qui vivent dans la forêt se sont donc séparés de la société ?**
Oui, en tout cas symboliquement. Étymologiquement, la forêt, c'est ce qui est en dehors (*foris*), c'est le sauvage (*silva*). La chose publique (*res publica*), la cité ou l'Empire, se constitue contre la *res nullius*, la zone du non-droit, les terres vierges. La forêt était appelée *locus neminis*, lieu n'appartenant à personne, et donc hors la loi.
Dans *Le Recours aux forêts*, sous-titré *Le traité du rebelle*, l'écrivain allemand Ernst Jünger (1895-1998) reprend la figure scandinave du *Waldgänger*, proscrit obligé de s'enfuir en forêt parce qu'il a enfreint les règles de la cité. Qui le rencontre peut le tuer sans pour autant commettre de crime. En retour, Jünger définit la forêt comme le lieu du rebelle, champ d'action d'où il peut mener l'attaque contre la société qu'il remet en cause.

**Votre nom d'auteur est un hommage à un chef de la guerre des Demoiselles, rébellion de paysans ariégeois face au Code forestier de 1827** ***(lire aussi p. 44-47)*****. Quel était l'enjeu de ce conflit ?**
Ce code remettait en cause le jardinage forestier, c'est-à-dire le libre usage des ressources et biens communs que la forêt pouvait offrir. Alors que pour les paysans, il n'existait pas de frontière marquée entre le village et la forêt, il instaure une forme de privatisation au détriment des communautés locales. Afin de se donner du courage, les paysans de l'Ariège se déguisèrent en femmes, en animaux, en fées. Dans cette forme d'ensauvagement, il y avait la volonté non seulement de ne pas être reconnus, mais aussi de s'inscrire dans l'imaginaire de leur territoire.

**Vous considérez comme primordial d'avoir un rapport éthique à la forêt…**
Vivre dans la forêt, c'est une bataille au jour le jour, un apprentissage : faire son bois de chauffage, déraciner des arbres qui ont envahi des terrasses cultivées, remonter des murs de pierre qui se sont effondrés il y a cinquante ans. Il y a là à la fois une certaine humilité à redécouvrir comment fonctionne le territoire et une possibilité de prendre soin de son lieu de vie. La forêt offre aussi un autre rapport au temps, plus long, plus lent, qui demande plus d'énergie physique. Le rapport éthique, je le vois dans cette friction de terrain. Car la forêt est un dehors, certes, mais c'est un dehors qu'il faut apprivoiser. Et pour cela, il faut y vivre, il faut y travailler. Il faut aller chercher le contact avec le terrestre, au niveau spatial comme au niveau existentiel. Et en finir avec ces grandes catégories d'« Homme » et de « Nature ». Ce n'est pas le groupe des humains responsables de la catastrophe – les industriels, les capitalistes – qui va changer les choses, c'est une espèce d'alliage improvisé entre les règnes du vivant, qui, face au danger, va peut-être, je l'espère, se mettre en place.

**PROPOS RECUEILLIS PAR SARA DE LACERDA**

**Jean-Baptiste Vidalou,**
*Être forêts. Habiter des territoires en lutte.*
La Découverte / Zones, 2017.

# Traquenards, farniente et prédation

Entre rivières et canopée, les animaux d'Équateur racontent une autre histoire de la forêt : un monde fascinant où, à chaque seconde, se jouent la vie et la mort de milliards de créatures.

Le sous-bois bruisse de sifflements aigus, les stridulations des cigales font écho aux coassements saccadés des grenouilles. Soudain, un chœur de cris grinçants s'élève. Et dans une farandole de plumes bleues et émeraude, une envolée de perroquets perce le rideau de verdure...
La forêt tropicale humide, un des écosystèmes les plus diversifiés au monde, regorge de formes de vie, parfois spectaculaires, le plus souvent invisibles. Réalisées sous les canopées d'Équateur, de part et d'autre de la cordillère des Andes, les images du photographe Lucas Bustamante racontent des bagarres pour dominer un territoire, des postures destinées à intimider l'ennemi, du mimétisme qui trompera les prédateurs. Son objectif affûté dévoile les traits délicatement brodés d'une sauterelle lichen (*Markia hystrix*), saisit le vol d'une bande de touis de Deville (*Brotogeris cyanoptera*) venus becqueter sur les berges d'un cours d'eau. Ces derniers font partie des 1600 espèces d'oiseaux recensées dans un pays riche d'une biodiversité hors normes où, encore en 2018, des ornithologues dénichaient un colibri inconnu ! Près de 382 espèces de mammifères, 405 de reptiles, 440 d'amphibiens, sans doute des millions d'invertébrés, y ont été dénombrées… dans des inventaires sans fin. Le soulèvement des Andes, il y a plus de 100 millions d'années, et l'émergence à cette époque de multiples écosystèmes restés stables depuis, expliqueraient en partie cette vertigineuse variété du vivant.

**ANDREINA DE BEI**

**PHOTOS : LUCAS BUSTAMANTE/ NATURE PICTURE LIBRARY**

**Une rainette réticulaire** (*Trachycephalus typhonius*), photographiée dans le parc national Yasuni, écarte une branche de ses doigts robustes, légèrement palmés et dotés de larges disques. Cette espèce est très répandue dans l'ensemble de l'Amérique latine.

**Les touis de Deville** (*Brotogeris cyanoptera*) aiment les forêts tropicales bien arrosées par les pluies et se rassemblent souvent en bandes dynamiques. Ici, ils ont été captés avec un caïque de Barraband (*Pionopsitta barrabandi*), en train de se nourrir d'argile.

**Une jeune souris-opossum pâle** (*Marmosops impavidus*), espèce originaire du Pérou, croque un papillon de nuit. Adulte, sa taille sera d'environ 14 centimètres pour un poids de 42 grammes.

**La vipère de Schlegel,** ou vipère à cils (*Bothriechis schlegelii*), est une espèce arboricole. Sa peau se pare d'une large gamme de couleurs, et ses écailles sur les yeux ressemblent à des cils.

**Cette mante à capuchon** (*Choeradodis rhombicollis*) se redresse en ouvrant ses ailes pour intimider l'ennemi. Ses pattes avant sont dotées de piques et peuvent se détendre très rapidement.

**Un paresseux à gorge brune** (*Bradypus variegatus*) se laisse pendre à une branche. Cet animal solitaire, souvent accroché aux arbres en position « hamac », se nourrit surtout de feuilles.

**Admirablement camouflée, une sauterelle lichen** (*Markia hystrix*) a adopté cette stratégie pour leurrer ses prédateurs. Elle appartient à une espèce nocturne endémique d'Amérique du Sud.

**Gunther Willinger,** *Forests in our world. How the climate affects woodlands,* Ed. teNeues-Nature Picture Library

**Le toucan montagnard** (*Andigena laminirostris*), habitué des forêts humides, consomme une grande variété de fruits et de baies (en haut).

**Deux mâles haut-de-chausses à palette** (*Ocreatus underwoodii*), une espèce de colibri, se bagarrent en vol pour l'accès à une fleur (ci-dessus).

**Cet étonnant sac translucide** accroché à une feuille contient des têtards en train de se développer dans les œufs d'une grenouille de verre (*Nymphargus lasgralarias*). Des petits amphibiens transparents que l'on trouve en Amérique centrale et en Amazonie (ci-dessus).

**De ses crocs puissants, cette loutre géante** (*Pteronura brasiliensis*) se repaît d'un poisson-chat. Elle apprécie spécialement les rivières et ruisseaux d'eau douce.

# UN ÉCOSYSTÈME EN DANGER

Chaque année, des millions d'hectares de forêt dépérissent ou partent en fumée. En cause : la déforestation, les rejets massifs de gaz à effet de serre, la sylviculture industrielle… L'humanité semble avoir oublié que sans arbres, la planète serait invivable. Seule solution pour éviter la catastrophe, selon les scientifiques : donner la priorité absolue à la lutte contre le réchauffement.

**La forêt tropicale de Sabah,** à Bornéo.

ALEX HYDE/NATUREPL

# Le **climatiseur** planétaire

Elles absorbent nos excès de $CO_2$ et diffusent fraîcheur et humidité sur tous les continents. Tempérées ou tropicales, les forêts assurent la régulation du climat et contiennent la surchauffe… Mais pour combien de temps ?

C'est à la photosynthèse que l'on doit de pouvoir respirer sur Terre. C'est aussi ce prodige d'ingénierie chimique qui fait aujourd'hui des arbres nos meilleurs alliés pour « pomper » l'excès de dioxyde de carbone ($CO_2$) émis par les activités humaines. Les forêts – notamment tropicales humides – jouent un rôle capital dans les grands équilibres écologiques, *a fortiori* dans la lutte contre la « surchauffe » planétaire. Peut-on pour autant parler de « poumons verts » ? Scientifiquement, l'image est erronée. *« Dans la journée, les arbres font exactement l'inverse de nos poumons,* indique Jérôme Chave, chercheur en écologie tropicale au laboratoire Évolution et diversité biologique du CNRS à Toulouse. *Ils absorbent du dioxyde de carbone ($CO_2$) et rejettent de l'oxygène ($O_2$).* » La nuit, quand la photosynthèse s'interrompt, les arbres respirent : ils absorbent de l'oxygène et émettent un peu de $CO_2$. Et alors que les océans fournissent 50 % de l'oxygène de notre atmosphère, la contribution des forêts tropicales est estimée à seulement… 12 %.

*« Le principal service de l'écosystème forestier réside dans le piégeage à long terme de grandes quantités de carbone »,* reprend le chercheur. Lorsque la matière végétale meurt (feuilles tombées au sol, arbres en décomposition), le carbone qu'elle a absorbé reste en partie piégé dans la litière et l'humus. Près de la moitié du carbone d'un écosystème forestier est ainsi séquestré par les sols, l'autre moitié par les arbres vivants. Les forêts extraient environ 40 % du carbone terrestre – contre 50 % pour les océans, et 10 % pour les autres végétaux et sols. Sous les tropiques, notamment, elles sont capables de stocker, par hectare, près de 200 tonnes de carbone. Revers de cette fabuleuse capacité : lorsque la forêt est détruite, ou brûle, celui-ci est relâché. La déforestation tropicale contribue ainsi à hauteur de 15 % environ aux émissions de $CO_2$ dans l'atmosphère.

COURTESY JÉRÔME CHAVE

**« Sans les forêts, le réchauffement climatique serait deux fois plus rapide… Mais elles ne peuvent, à elles seules, l'endiguer »**
**Jérome Chave,** chercheur en écologie tropicale

*« Sans les forêts, le réchauffement climatique serait deux fois plus rapide »,* résume Jérôme Chave. Mais jusqu'à quand pourront-elles être nos boucliers thermiques ? Suffirait-il de planter des milliards d'arbres pour contenir le réchauffement ? *« C'est l'objet de débats houleux parmi les scientifiques, car la réponse de la forêt au changement climatique défie notre compréhension »,* explique le chercheur. Ne serait-ce que parce que la photosynthèse végétale recèle encore de nombreux mystères, et qu'il est difficile de savoir comment elle peut être affectée par le réchauffement.

## Les très vieux arbres, de précieux stocks de carbone sur pied

Certains modèles tablent sur une stimulation. *« L'efficacité de la photosynthèse est renforcée par l'augmentation du $CO_2$ dans l'atmosphère, tout comme la fixation du carbone,* explique le chercheur. *Toute la végétation croît plus vite. »*

**Des arbres ?** Oui, mais aussi des pièges à carbone ! Forêt de hêtres à Bolderwood (Royaume-Uni).

GUY EDWARDES/2020VISION/NATUREPL

Mais l'action bénéfique de cette « fertilisation » est controversée, car l'excédent de $CO_2$ a son revers : les arbres croissent plus vite mais meurent aussi plus jeunes. Or, un sujet jeune n'a pas eu le temps de stocker beaucoup de carbone. Si les arbres du bassin du Congo ou d'Amazonie sont si précieux, c'est aussi parce que certains sont énormes, très vieux, et constituent des stocks de carbone sur pied.

Un gigantesque programme de recherche mené en Amazonie durant plus de trente ans a montré que la forêt éponge de moins en moins le carbone que nous émettons. Plus de 320 parcelles ont été visitées à intervalles réguliers. Les chercheurs ont ainsi pu ainsi observer la vie et la mort de quelque 200 000 arbres. Publiés dans *Science* en 2015, les résultats de cette étude indiquent que le taux de mortalité des arbres a, en moyenne, augmenté de 30 % depuis le milieu des années 1980, notamment à cause de deux sécheresses exceptionnelles, en 2005 et 2006. Mais le phénomène de surmortalité observé a débuté bien avant le XXIe siècle. Il est donc probablement dû au réchauffement climatique, même si l'étude ne permet pas de déterminer exactement par quel processus. Manque d'eau, stress thermique ? En tout état de cause, la mort des arbres s'est accélérée là où la sécheresse a le plus frappé. « *La photosynthèse n'est pas moins efficace,* souligne Jérôme Chave, qui est l'un des auteurs de l'étude. *C'est bien la mortalité des arbres qui a augmenté de façon régulière.* » Avec une terrible conséquence mécanique : « *Le $CO_2$ s'accumule plus vite dans l'atmosphère.* » En un peu plus de ●●●

## Et au-dessus coule une rivière...

Dans le ciel amazonien circulent des masses considérables de vapeur d'eau, formées grâce à la transpiration végétale nécessaire à la photosynthèse. Pour absorber le $CO_2$ lors de ce processus, les végétaux recouvrent en effet leurs feuilles d'une fine couche d'eau. Sous l'effet du rayonnement solaire, celle-ci s'évapore. Chaque jour, un grand arbre peut ainsi libérer plus de 300 litres d'eau. Pour la forêt amazonienne, qui compte 390 milliards d'arbres, cela représente 20 milliards de tonnes d'eau par jour... plus que les 17 milliards entraînés vers l'océan par l'Amazone, le plus grand fleuve de la planète !

Ces « rivières » se forment par un mécanisme dit de pompe biotique : l'évapotranspiration – qui s'élève en une colonne d'air pouvant atteindre 4 000 mètres de hauteur – et la condensation de la vapeur sous forme de gouttelettes provoquent un déficit de pression au niveau du sol. Déficit qui aspire les masses d'air océanique chargées en humidité, notamment au niveau des Guyanes et du nord du Brésil. Voilà la « source » de ces courants qui, poussés par les vents, progressent sur plus de 3 000 kilomètres vers l'ouest, en capturant l'humidité de la forêt. En chemin, ils alimentent l'ensemble du bassin amazonien puis, bloqués par les Andes, descendent vers le sud où ils arrosent des terres qui sans eux seraient arides.

Or, les rivières volantes sont menacées par la déforestation. En 2019, près de 500 millions d'arbres ont été perdus, ce qui représente 150 milliards de litres d'eau en moins pour les fleuves aériens. « *Si elles venaient à disparaître,* prévient Antonio Nobre, expert de l'Amazonie à l'Institut national de recherche spatiale du Brésil, *l'Amazonie ne survivrait pas et la planète se réchaufferait... même si l'on parvenait à arrêter la production globale de $CO_2$.* »

NICOLAS GUTIERREZ C.

●●● deux décennies, l'efficacité du puits de carbone amazonien a été divisée par deux.
Une autre étude, menée à Madagascar par l'équipe de Ghislain Vieilledent, chercheur en écologie appliquée au Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique), confirme le sombre diagnostic. *« Nous avons observé une surmortalité des forêts dans les zones les plus chaudes et les plus sèches et l'arrivée d'espèces plus petites : des arbres moins hauts et moins larges, qui ont donc une surface d'échanges réduite, et une moindre capacité de stockage de carbone… »* L'augmentation de la température (+3,7 °C) et la diminution des précipitations annuelles (-107 mm) pourraient conduire, d'ici à 2080, à une baisse d'au moins 17 % du stock de carbone forestier à Madagascar. Un cauchemar. *« D'autant plus inquiétant que nos modèles ne tiennent pas compte de la déforestation anthropique! »*, s'alarme le chercheur.

## Des forêts tropicales transformées en savanes sous l'effet des sécheresses

Il y a pire : le système forestier entier pourrait basculer. Une étude publiée dans la revue *Nature* le 4 mars dernier établit que la capacité de capture du carbone, entamée par la disparition d'arbres pour cause de sécheresses, d'incendies ou de déforestation, devrait devenir nulle d'ici 2035 en Amazonie – la forêt produisant dès lors plus de $CO_2$ qu'elle n'en capterait. Tandis qu'en Afrique, elle devrait décliner de 14% d'ici à 2030. Autrement dit, les forêts tropicales pourraient contribuer à l'emballement du changement climatique.
En détruisant les forêts, ce ne seraient pas seulement des « stocks de carbone » qui seraient dilapidés, mais aussi bien d'autres services cruciaux pour la régulation du climat. Par exemple, en évacuant la vapeur d'eau qu'ils produisent, les arbres remettent sans cesse en circulation l'eau issue des pluies *(lire l'encadré p. 63)*. La forêt amazonienne génère ainsi plus de la moitié de ses précipitations, qui lui permettent aussi de fournir de l'eau en abondance à des régions périphériques. Les forêts constituent également des réserves de fraîcheur essentielles pour la biodiversité. Une étude publiée l'an dernier dans *Nature Ecology and Evolution* montre que durant

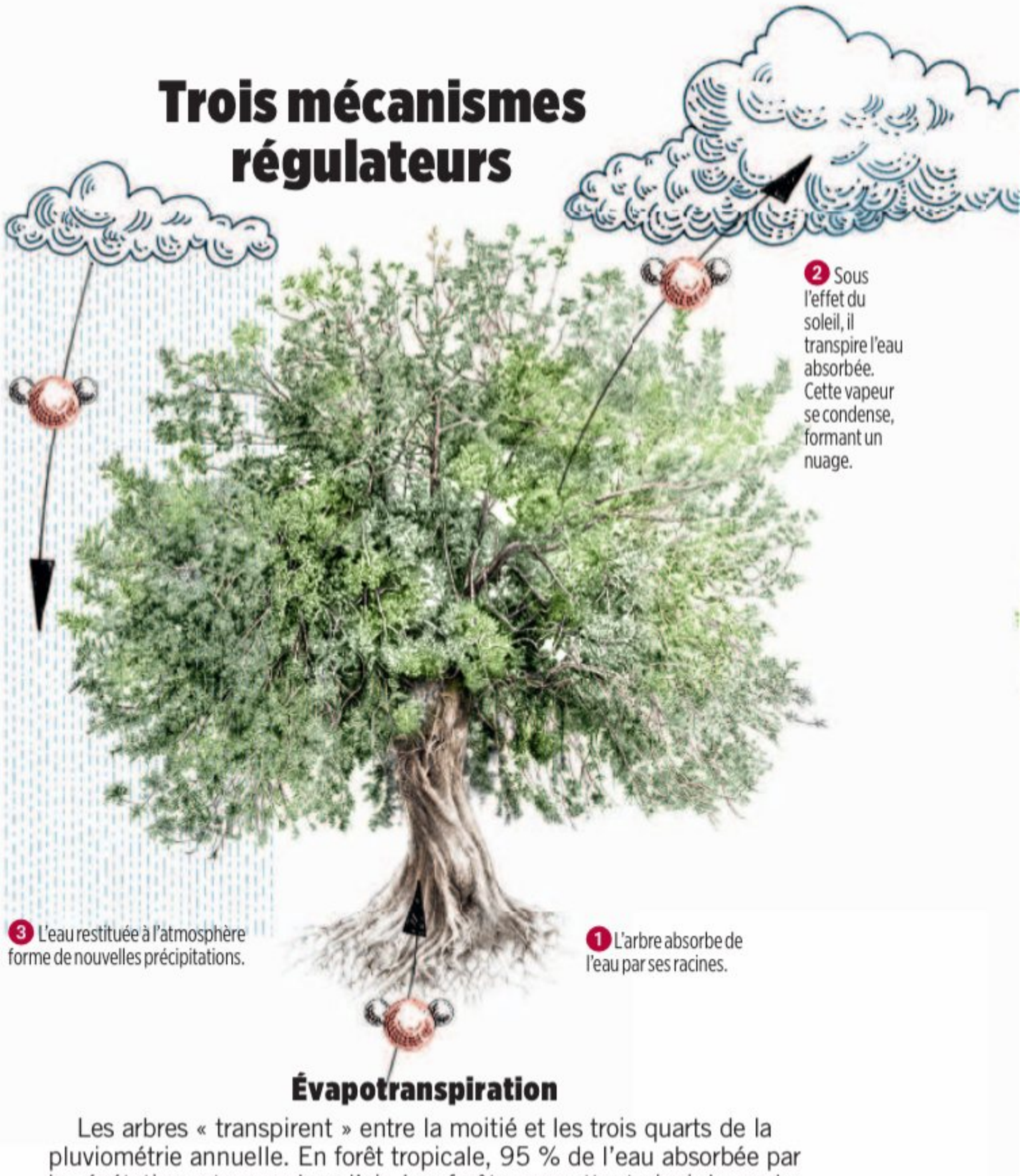


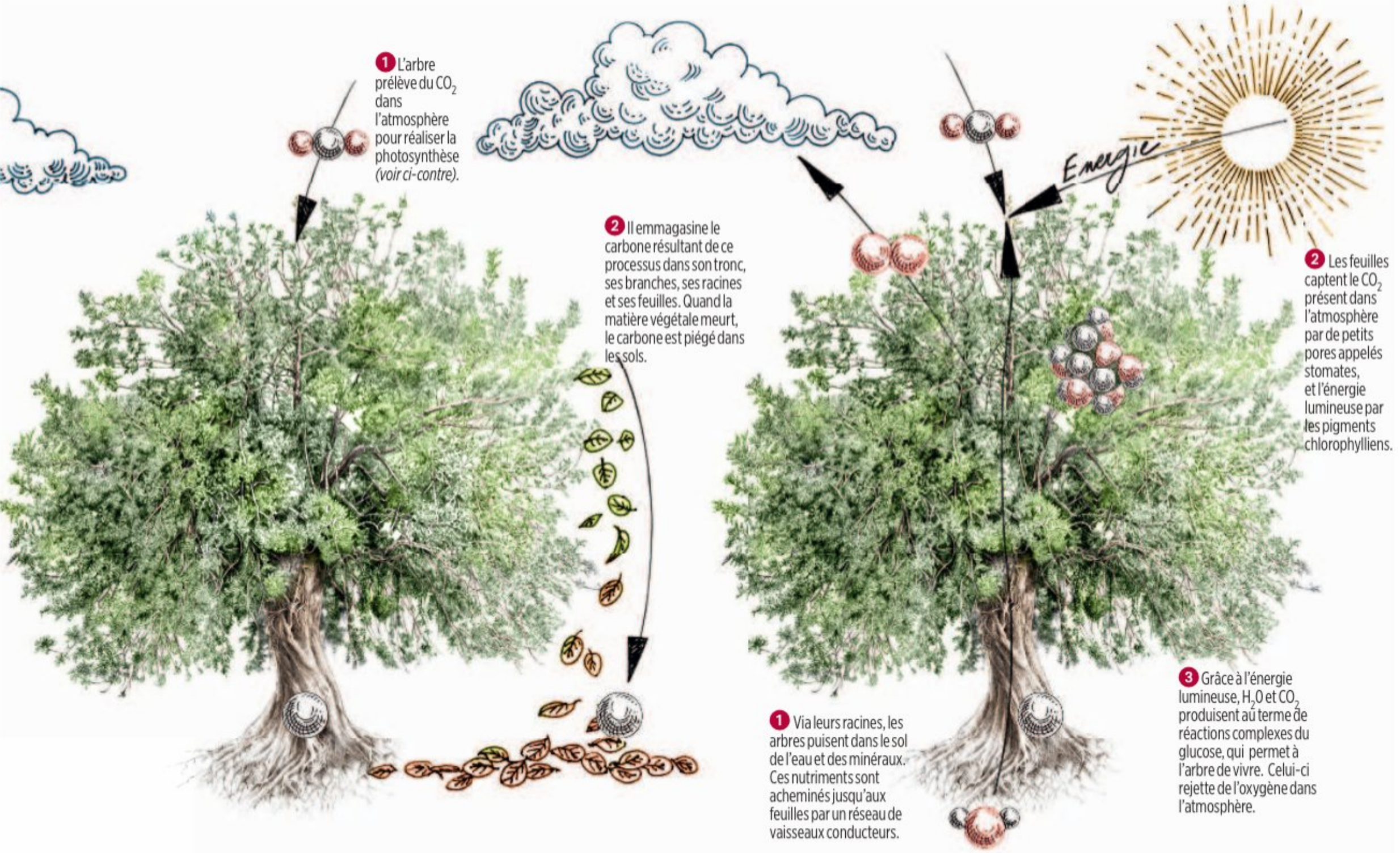
ILLUSTRATION : FLORENCE GENDRE POUR SCIENCES ET AVENIR

# Compensation carbone : ces arbres qui gâchent la forêt

**Quoi de plus vertueux pour une entreprise que de proposer de planter des arbres pour compenser son empreinte carbone? Au Forum économique de Davos, en janvier dernier, c'était à qui sèmerait le plus pour récolter des « crédits carbone » : le géant pétrolier Shell? Plus de 5 millions d'arbres dans l'année aux Pays-Bas; le français Total? 100 millions de dollars dans des projets forestiers. Mais *« s'il s'agit de compenser la poursuite de la pollution issue des carburants fossiles, c'est une solution erronée »*, alerte l'ONG Greenpeace. Prendre l'avion, par exemple, *« c'est rejeter illico des tonnes de $CO_2$ dans l'atmosphère alors que les arbres qu'on va planter pour compenser mettront des décennies à absorber la quantité équivalente*, explique Sylvain Angerand, président de l'association Canopée qui milite pour des forêts vivantes. *Or, nous n'avons plus le temps de regarder pousser***

ELEONORE HENRY DE FRAHAN/ARGOS DIFFUSION/SAIF IMAGES

**Pour contrer l'avancée du désert,** la Chine plante une « grande muraille verte ».




## Capture de carbone

Les forêts tropicales stockent près de 40 % du carbone terrestre. Surexploitées ou incendiées, elles le relâchent dans l'atmosphère. De plus, la décimation des arbres se traduit par une diminution de leur aptitude à séquestrer le carbone.

## Photosynthèse

La photosynthèse est plus intense dans les forêts tropicales humides, chaudes et ensoleillées, et composées d'essences à feuilles persistantes. Durant la nuit, elle s'arrête, mais l'arbre continue à respirer : il absorbe de l'$O_2$ et dégage un peu de $CO_2$.

la journée, les températures maximales sont en moyenne 4 °C plus basses en forêt qu'à l'extérieur. Des écarts encore plus importants pour les forêts tropicales, ce qui s'explique par la taille des arbres et la largeur des feuilles : plus cette couverture isolante est dense, plus l'effet d'isolation thermique est efficace.

*« On estime que si 50 % de l'Amazonie devait encore disparaître, cela aurait des conséquences directes sur le climat de l'ensemble du continent américain, avec des sécheresses plus longues et intenses »*, souligne Plinio Sist, directeur de l'unité de recherche Forêts et Sociétés du Cirad *(lire aussi l'interview p. 77)*. Et pourtant, la déforestation en Amazonie brésilienne se poursuit sans frein, atteignant l'an dernier des niveaux records et provoquant l'essentiel des dizaines de milliers d'incendies qui l'ont ravagée. ■ **ÉLIANE PATRIARCA**

***les arbres ! Il faut dès aujourd'hui réduire de façon drastique nos émissions de gaz à effet de serre et restaurer les forêts. »***

De nombreux pays ont entrepris, eux aussi, des reforestations massives. Depuis quarante ans, la Chine édifie le long du désert de Gobi sa « grande muraille verte », constituée à ce jour de 66 milliards d'arbres. En Turquie, 11 millions d'arbres – des sapins – ont été plantés le 11 novembre 2019, décrété « journée de reforestation nationale ».

**Hélas, ces opérations relèvent souvent du trompe-l'œil écologique. Plus que de reforestation, il s'agit de reboisement, avec seulement quelques espèces.** *« Des parcelles plantées en monoculture ne pourront jamais présenter une biodiversité aussi riche qu'une forêt tropicale, qui peut mettre jusqu'à 65 ans à repousser ! »*, **alerte Benjamin Neimark, géographe-écologue à l'université de Lancaster *, qui épingle notamment les monocultures d'eucalyptus.** *« Souvent choisie pour sa croissance éclair et sa rentabilité économique »*, cette essence requiert des quantités d'eau considérables, *« assèche les nappes phréatiques et entre en compétition avec les espèces locales ».* **Coûteux, en temps, en argent et en surfaces,** les programmes dits de reforestation échouent souvent : en Turquie, 90 % des sapins sont déjà morts… *« La compensation carbone par la plantation d'arbres n'est pas le premier réflexe à avoir,* estime Ghislain Vieilledent, chercheur au Cirad. *Il faut avant tout changer notre modèle de production et de consommation. Reforester en seconde intention, oui. Mais l'urgence absolue, c'est de conserver les forêts tropicales actuelles ! »*

* *The Conversation*, 28 octobre 2018.

# Séchées sur pied

Le réchauffement climatique accélère dangereusement le dépérissement des forêts, sous toutes les latitudes. Pour enrayer le phénomène, chercheurs et forestiers multiplient les initiatives… Mais le temps est compté.

INA FASSBENDER / AFP

**2019 a été une année noire pour les épicéas européens,** dont beaucoup sont morts de sécheresse. Ici en Allemagne, à Menden, en juillet.

À une heure de Paris, Chantilly, son château et ses majestueuses futaies. Propriété de l'Institut de France, ces 6300 hectares sont gérés par l'ONF. Depuis quelques années, par endroits, la forêt ressemble à un champ de ruines. Les grands chênes morts forment autant de chandelles grises, écorcées par les insectes qui se sont rués sur leurs dépouilles. *« Il n'y a plus de vieux arbres,* commente Thierry Chauvin, forestier en ces lieux depuis quarante ans. *Les petits taillis de tilleuls et les bouleaux meurent aussi, le peu qui reste y passera dans trois ou quatre ans. »* Les dépérissements touchent l'ensemble du domaine. Les forestiers de Chantilly ont dans le viseur un accusé : le changement climatique. *« Un arbre peut supporter une sécheresse*, explique Daisy Copeau, forestière et adjointe de l'administrateur du domaine de Chantilly. *Mais au bout de trois ou quatre chocs, ce sont les plus jeunes et les plus vieux qui trinquent… Or, depuis quelques années, l'accélération est spectaculaire : maintenant, tous les individus sont touchés. »* Selon un diagnostic demandé à l'ONF, 47 000 arbres adultes, soit 24 ans de récolte, devront probablement être abattus à court terme. Hervé Le Bouler, un ancien de l'ONF, a pour sa part scruté les données de température depuis 1750 et précipitations depuis 1870 : le seuil critique de la réserve en eau pour le chêne pédonculé est dépassé chaque année depuis… quinze ans. *« À Chantilly, le chêne a désormais atteint son seuil de tolérance,* explique Hervé Le Bouler. *D'après les modèles de prévision, à +1,5°C, la forêt connaîtrait le climat de Poitiers, et à +3°C, celui du sud de Barcelone. À ce rythme, à la fin du siècle, la forêt se transformera en une sorte de garrigue. »*

## Les épicéas virent à l'orangé, les sapins au rouge

Chantilly, mais aussi Fontainebleau, Compiègne ou Ermenonville… Des forêts de feuillus installées sur des sols désormais très secs ont pris un peu d'avance sur un phénomène qui menace la forêt française dans son ensemble. L'été dernier, c'est une explosion de couleurs inhabituelles qui a sonné l'alarme plus à l'est. Les épicéas de la Meuse, des Vosges, de Bourgogne ou de Franche-Comté ont viré à l'orangé au milieu de l'été, les sapins au rouge, et les arbres sont morts. Un bilan, toutes essences confondues, particulièrement lourd : près de 220 000 hectares de forêt publique ont été touchés par des dépérissements massifs. Cette hécatombe est la conséquence de la sécheresse exceptionnelle de 2018, après celles de 2015 et de 2017, couplée à des températures élevées. L'été 2019, sec et chaud, a donné l'estocade. *« Les arbres sont stressés*, explique Lilian Duband, forestier à l'ONF et référent changement climatique pour le Grand Est. *Ils ne meurent pas de soif mais sont*

COURTESY LILIAN DUBNAD

**« Les arbres ne meurent pas de soif mais sont très affaiblis. Les sécheresses les mettent à genoux, les pathogènes les achèvent »**

**Lilian Duband**, forestier à l'ONF, référent changement climatique pour le Grand Est

*très affaiblis, comme quelqu'un dont les défenses immunitaires se seraient effondrées. Les sécheresses les mettent à genoux, les pathogènes les achèvent.* »

Évidemment, plus le mercure monte sur l'ensemble de la planète, plus ce type d'événements en cascade est à craindre. « *À la fin du siècle, sans réduction des émissions de gaz à effet de serre, des espèces de climat tempéré vont se retrouver en climat méditerranéen, et la zone méditerranéenne subira un climat sahélien : les arbres ne pourront pas résister à des changements si prononcés* », explique Hervé Cochard, directeur adjoint de l'unité Piaf de l'Inra, spécialiste de la réponse des arbres aux facteurs de l'environnement affectés par le changement climatique. L'explication des dépérissements massifs observés après des épisodes de sécheresse extrême partout sur le globe, selon le chercheur, s'appelle cavitation : sous l'effet du manque d'eau dans le sol, des bulles d'air se forment dans les vaisseaux permettant de transporter la sève des racines à la cime, provoquant une embolie gazeuse et la mort de l'arbre. L'étude, publiée en 2012 dans la revue *Nature*, de l'équipe internationale dont il fait partie, concernait 220 espèces réparties sur plus de 80 sites mondiaux et sous tous les climats. Elle établissait que près de deux tiers d'entre elles vivaient à la limite de l'embolie. Pour Hervé Cochard, huit ans plus tard, ce tableau est plus que jamais valable. « *Le problème, c'est que le changement climatique est trop rapide : les espèces ne sont pas armées,* explique-t-il. *Nos scénarios sont plutôt des scénarios catastrophe : il n'y a pas vraiment de solutions autres que la réduction des émissions !* »

**Dans la forêt de Paracou, en Guyane française,** le dispositif Guyaflux permet d'étudier la concentration de plusieurs gaz à effet de serre. Il mesure en temps réel les échanges d'eau et de dioxyde de carbone entre la forêt et l'atmosphère.

AURÉLIEN BRUSINI

Reste tout de même à affiner les connaissances pour chaque zone forestière du monde, en particulier quant à la réaction des arbres. En février dernier, une équipe de scientifiques de l'Inra, du CEA et du CNRS a réussi à mettre en évidence, à partir d'images satellite, une surmortalité des arbres et un déficit de photosynthèse dans les forêts tropicales africaines, après l'épisode de la sécheresse associée à l'épisode El Niño de 2015-2016. « *L'impact de cette sécheresse est plus intense que ce que l'on imaginait,* explique Jérôme Chave, directeur adjoint du laboratoire Évolution et diversité biologique (EDB), à Toulouse (CNRS / IRD / université Paul-Sabatier). *Si ce type d'événement devient plus fréquent, on ne peut pas exclure des impacts très violents dans les prochaines années ou décennies. Le problème, c'est que l'on sait très mal modéliser* ●●●

NATHALIE PETREL/ONF

**Dans la pépinière de Guéméné-Penfao,** des chênes déploient leurs premières feuilles. Les plants de dfférentes variétés résistantes à la sécheresse viennent de plusieurs régions d'Europe. Ils seront repiqués sur des parcelles expérimentales destinées à étudier leur adaptation au changement climatique.

●●● *ces phénomènes climatiques extrêmes.* » Le chercheur pointe la nécessité de compléter ces données vues du ciel par des approches de terrain.

### Une tour de 55 mètres pour mesurer les échanges gazeux

Le suivi de terrain, indispensable pour caractériser concrètement la réponse des arbres aux modifications des conditions climatiques et modéliser avec précision les effets à venir du réchauffement, c'est l'objectif de Guyaflux. Ce dispositif de recherche, installé dans la forêt de Paracou en Guyane française, est une « tour à flux » de 55 mètres qui mesure les échanges gazeux entre ce morceau de forêt amazonienne et l'atmosphère, et permet d'en déduire le comportement en fonction des variations climatiques annuelles. *« Elle nous permet de calculer les flux sur quelques centaines d'hectares. Une paille à l'échelle de la forêt amazonienne, mais c'est un exemple de comportement qui nous permet d'alimenter des modèles climatiques globaux »*, explique Damien Bonal, responsable scientifique du projet. Guyaflux n'a, pour l'instant, livré que dix-sept ans de données. *« C'est pourtant le dispositif en continu le plus long au monde pour les forêts tropicales humides ! »*, souligne le chercheur, qui estime qu'un recul de cinquante ans minimum est nécessaire pour parvenir à des conclusions robustes. *« Depuis 2003, nous avons néanmoins observé, à plusieurs reprises, l'impact d'événements de sécheresse majeure sur son fonctionnement »*, poursuit-il. Notamment une augmentation de la mortalité des arbres et une diminution de la photosynthèse. Mais impossible pour l'instant de généraliser ces conclusions.

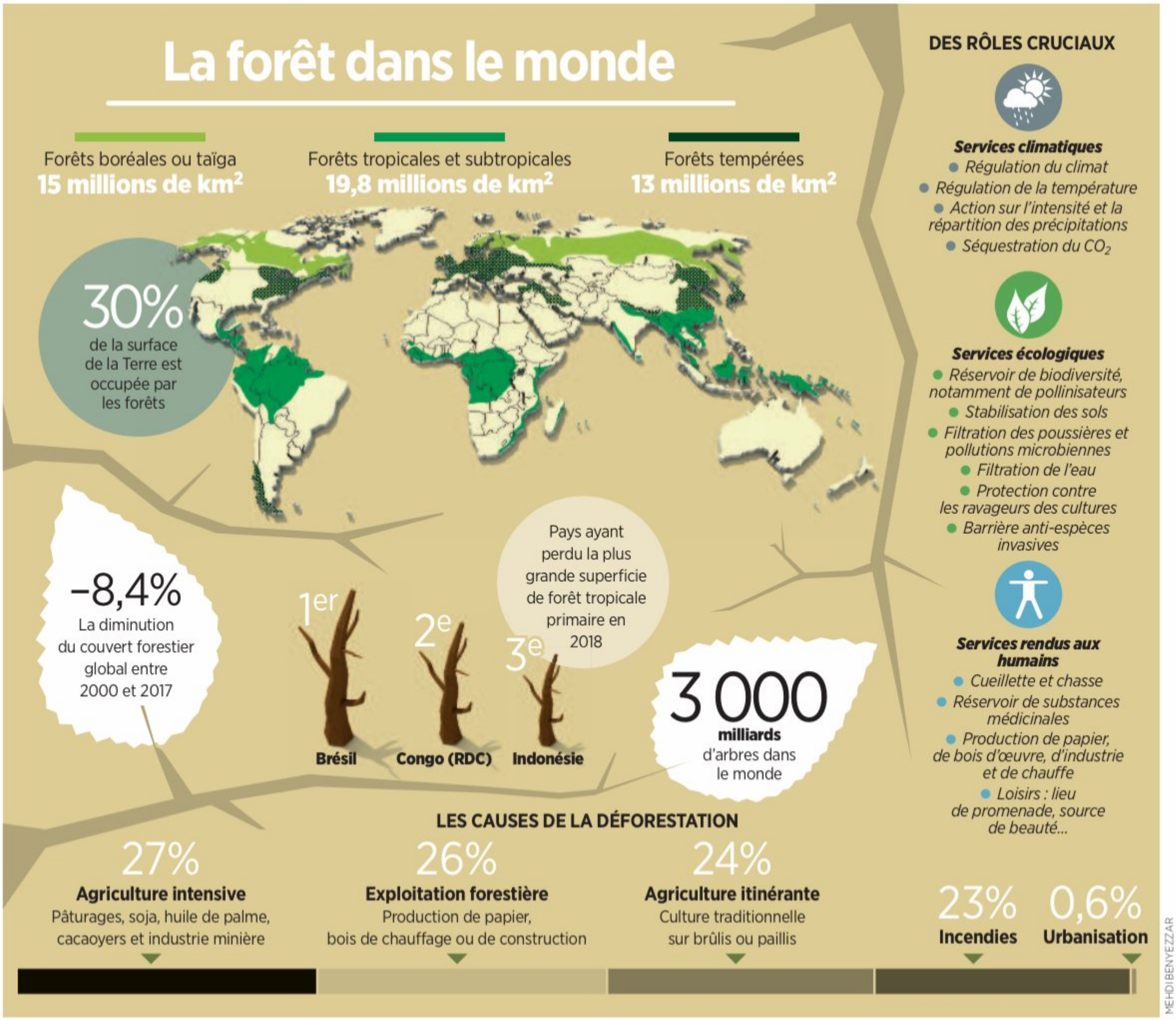
Or, sur le front de la forêt, le temps presse. Sous nos latitudes, les gestionnaires s'arrachent les cheveux. *« Ce qui est très compliqué, c'est que l'on travaille à l'échelle du siècle, un pas de temps qui n'existe dans aucun autre métier*, souligne Brigitte Musch, généticienne à l'ONF. *Nos décisions comptent pour les cent ans à venir. Or nous savons que plus rien ne sera pareil. »* Il s'agit donc de multiplier les initiatives, histoire de ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier. Comme forcer les arbres à s'adapter aux nouvelles températures. Par des pratiques d'éclaircies, par exemple, on peut avancer

EUROPEAN FOREST INSECT SURVEY/BIOSPHOTO

**Galeries forées dans un pin par un scolyte.** L'insecte y déposera ses œufs, d'où écloseront des larves qui, à leur tour, creuseront le bois.

## L'efficacité ravageuse du scolyte

**Il ne mesure que quelques millimètres et ravage pourtant des milliers d'hectares ! Le scolyte – ou bostryche – typographe *(Ips typographus)* fore l'écorce et creuse des galeries de ponte parallèles aux fibres du bois. Principale essence touchée : l'épicéa, en France mais aussi dans les forêts d'Europe centrale. Les larves de ce coléoptère brun foncé se développent en symbiose avec des champignons qui détruisent les tissus conducteurs de sève. Le ravageur n'attaque que les individus vulnérables et ses larves ne survivent pas à l'hiver. Or, ces dernières années, le mercure n'est jamais descendu très bas, et les sécheresses successives ont affaibli les arbres. *« Plus il fait chaud, plus son cycle de vie s'accélère*, explique Lilian Duband, forestier de l'ONF et référent changement climatique pour le Grand Est. *L'année dernière, trois générations sont nées au lieu de deux, sur des arbres incapables de se défendre. Et comme chaque mètre cube de bois infesté peut produire 10 000 scolytes, la vitesse de propagation a été exponentielle. Cet emballement est complètement inédit ! »* Une épidémie fulgurante qui laisse les forestiers totalement impuissants. Dans le Grand Est, 1,36 million de mètres cubes de bois moribond ont ainsi dû être exploités, soit 280 % de la récolte annuelle. Cette dévastation n'est pas sans conséquence sur la vie et le moral des forestiers. À Verdun, 1750 hectares d'épicéas – sur 10 000 hectares de forêt – ont roussi en deux ans, puis sont morts et ont dû être coupés, laissant rases des zones entières. Un travail colossal, représentant la récolte habituelle de dix ans, qu'il faut débarder, vendre, évacuer au plus vite… et au moins mal offrant.**




la maturité sexuelle des chênes et réduire leur cycle de reproduction. *« On essaie de faire marcher la machine à évolution plus rapidement »*, explique Brigitte Musch. De leur côté, certaines espèces ont commencé à migrer « naturellement ». Sur la côte atlantique, le chêne vert (*Quercus ilex*) remonte ainsi vers le nord. Absent à la fin du XIXe siècle de la forêt d'Hourtin, entre le bassin d'Arcachon et l'estuaire de la Gironde, il est aujourd'hui devenu l'essence dominante de la forêt littorale atlantique jusqu'au nord de la Vendée. *« Le seul bémol, c'est qu'il progresse de 50 mètres par an*, note Brigitte Musch. *Il faudrait qu'il soit dix fois plus rapide ! »* Un coup de pouce serait donc bienvenu.

C'est l'objet du projet Giono, initié en 2011 : des graines de chênes sessiles de six forêts aux conditions climatiques plus chaudes et plus sèches ont été semées en forêt de Verdun et surveillées de près. Car un chêne sessile en provenance de Manosque garde en mémoire qu'il débourre le 15 mars… et s'expose, sur les bords de la Meuse, à geler sur pied. *« C'est un risque, mais on gagne du temps en leur faisant faire un grand saut*, commente Brigitte Musch. *On espère aussi qu'ils vont se croiser avec ceux de Verdun et que leurs descendants auront acquis leur résistance à la sécheresse. »*

Mieux, alors que la chênaie française est dominée par quatre espèces (sessile, pédonculé, pubescent et tauzin), l'Europe en compte… 250 ! Pourquoi ne pas explorer cette diversité génétique ? Avant Noël, la pépinière expérimentale de Guéméné-Penfao, en Loire-Atlantique, a ainsi reçu de Turquie plusieurs caisses de glands de chêne de Kasnak (*Quercus vulcanica*), une espèce locale adaptée à une faible pluviométrie et dont le bois est réputé pour sa qualité. Une fois semés, ils rejoindront quelque part en France un « îlot d'avenir », nom donné à des parcelles expérimentales destinées à tester en conditions réelles ces nouvelles essences. À Verdun et dans les forêts du Grand Est, dix espèces de feuillus et résineux vont être ainsi plantées. Lilian Duband croise les doigts : *« D'ici quarante ans, on aura une réponse intéressante… Espérons que la forêt tienne jusque-là. »* ■

CÉCILE CAZENAVE

COURTESY BRIGITTE MUSCH

**« Le chêne vert progresse vers le nord de 50 mètres par an… Il faudrait qu'il soit dix fois plus rapide »**

**Brigitte Musch,** généticienne à l'ONF

Ces incendies incontrôlables pourraient se multiplier dans les années à venir, y compris en France. Avec un impact dévastateur sur la régénération du couvert végétal.

# Mégafeux : à qui le tour ?

Le scénario était celui d'un film catastrophe, les images ont été à la hauteur. Murs de flammes, pluies de braises, koalas terrifiés, touristes coincés sous des ciels d'Apocalypse… Les mégafeux qui ont embrasé l'Australie avant même le début de l'été austral défient le sens commun. En quelques mois, ils ont ravagé quelque 12 millions d'hectares, provoqué plus de trente morts, asphyxié Sydney et Canberra, et tué plus d'un milliard d'animaux selon un bilan très provisoire.

La faute à un cocktail explosif de conditions météorologiques. L'année 2019 a été la plus chaude jamais observée en Australie, avec une anomalie de température annuelle de +1,52 °C au-dessus de la moyenne 1961-1990. Le mois de décembre a même affiché un +3,21 °C, offrant une redoutable image d'un monde à +3 °C. Mais 2019 a aussi été l'année la plus sèche depuis le début de la mesure des précipitations en 1900, avec un déficit de 40 % de pluie. Jamais le pays n'avait connu d'indices de danger des feux de forêt aussi élevés sur l'ensemble de son territoire. Cet indicateur, mis au point dans les années 1960, est utilisé pour calculer les risques d'incendies forestiers. « *L'Australie est un continent habitué au feu, qui est même utilisé par sa population comme un outil de gestion des forêts. Mais on atteint là quelque chose d'inédit, en termes de surface, de nombre d'incendies et de contexte météorologique* », souligne Éric Rigolot, directeur de l'unité Écologie des forêts méditerranéennes à l'Inra et spécialiste du feu.

## Un phénomène qui touche tous les continents

Ces incendies hors norme sont-ils une exception sur le globe ? Certainement pas, d'après les experts. « *2019 a vu se dérouler une longue succession de feux sur la planète*, ajoute le chercheur. *Un phénomène qui dure depuis des années… et touche tous les continents.* » À la mi-janvier, une équipe de climatologues britanniques a passé en revue 57 études parues depuis le dernier rapport du Giec en 2013. Les conclusions sont sans appel : dans toutes les régions du monde théâtres de grands incendies – Amazonie, Scandinavie, Europe méditerranéenne, États-Unis et Canada –, le changement climatique a entraîné une augmentation des périodes à haut risque en raison de la combinaison de températures élevées, du peu d'humidité, de faibles précipitations et de vents souvent violents. Les saisons propices aux incendies sont plus longues de 25 %.

Reste que toutes les forêts du monde ne s'étalent pas sur des centaines de milliers d'hectares, formant le combustible potentiel d'un brasier d'enfer. Et pour Éric Rigolot, parler de la taille des surfaces brûlées ne suffit pas. En 2016, le feu de Rognac, dans les Bouches-du-Rhône, a ravagé 2 655 hectares et atteint les portes de Marseille en quelques heures. « *Un mégafeu peut être simplement un incendie que les pompiers ne parviennent pas à maîtriser, qui provoque l'effondrement du système de lutte. Rognac, c'est une sorte d'avertissement sans frais* », remarque l'écologue. En France, la stratégie de combat est concentrée sur l'attaque des feux naissants, qui doivent être contenus avant qu'ils ne dépassent un hectare. Ce qui exige des actions en amont, de débroussaillage, d'aménagement d'accès, ainsi que des moyens concentrés et rapides au moment de l'incendie. Elle est jusqu'à présent payante, puisque les surfaces brûlées diminuent

**Des pompiers australiens** tentent de contrôler le brasier, en janvier dernier. Les gigantesques incendies ont ravagé 20 % des forêts du pays.

MATTHEW ABBOTT/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

depuis quarante ans pour se stabiliser sous les 10 000 hectares par an.

Cependant, dans des conditions climatiques exceptionnelles, certains feux « échappent » à cette stratégie. Pour tous les experts, l'année 2003 demeure un cas d'école : une vague de sécheresse et de chaleur intenses, et des massifs comme les Maures et l'Estérel, dans le Var, en flammes pendant plusieurs jours. Bilan de l'année : près de 60 000 hectares partis en fumée. « *Or ce sont justement ces conditions exceptionnelles qui risquent de devenir la norme pour les régions du Sud dans les années à venir,* explique Julien Ruffault, chercheur au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, à Montpellier. *La question, dans ce contexte, est de savoir jusqu'à quel point notre stratégie de lutte peut tenir.* » D'après une publication de son équipe, d'ici au milieu du XXIe siècle, ce risque sera, en France, trois fois plus élevé en été lorsque l'anomalie de température estivale dépassera + 2 °C. Combien, parmi ces feux plus nombreux et plus fréquents, échapperont aux moyens humains et technologiques mis en place pour les contenir ?

C'est tout un paysage qui pourrait alors changer. Certaines espèces savent, certes, tirer parti du feu. C'est le cas du pin d'Alep, qui conserve ses graines en dormance dans ses cônes fermés par une résine qui ne fond que lorsque le feu passe. « *Mais il faut 15 ans pour former ces cônes !* précise Éric Rigolot. *La végétation est adaptée à un régime historique de feu. Si les feux changent de régime, et en particulier deviennent trop fréquents, les plantes n'auront pas le temps de se régénérer.* »

## Après l'anthropocène, une nouvelle ère : le pyrocène

Ainsi, cette année, en Australie, les incendies n'ont pas seulement ravagé les forêts d'eucalyptus, une essence habituée au feu. Ils ont pénétré dans les forêts humides dont les scientifiques ignorent encore si elles ont la capacité à renaître ou non de leurs cendres. Pire, ils ont d'ores et déjà relargué dans l'atmosphère environ 440 millions de tonnes de $CO_2$ – soit à peine moins que les émissions de la France en 2018. La concentration de $CO_2$ étant le principal facteur du réchauffement global, c'est un serpent qui se mord la queue ! Cette situation a conduit la philosophe Joëlle Zask à forger le terme de « pyrocène » : une nouvelle ère faisant suite à l'anthropocène, marquée quant à elle par l'empreinte de l'homme. « *Nous sommes doublés par les feux qui sont eux-mêmes la conséquence de nos activités : le feu prend le relais de nos propres émissions* », explique-t-elle. Arrêter l'emballement général de la machine ne pourra se faire qu'en diminuant drastiquement les émissions mondiales de gaz à effet de serre… ■ **CÉCILE CAZENAVE**

**Joëlle Zask,** *Quand la forêt brûle. Penser la nouvelle catastrophe écologique*, Premier Parallèle, 2019

DR

**« En Australie, on a atteint quelque chose d'inédit en terme de surface, de nombre d'incendies et de contexte météorologique »**

**Éric Rigolot,** directeur de l'unité Écologie des forêts méditerranéennes à l'Inra

# Reforester l'Amazonie, le pari fou du Pérou

Dans la région de Madre de Dios, au Pérou, la reforestation de zones dévastées par les mines d'or passe de la recherche au terrain. Une réserve nationale est la première à se lancer dans l'aventure. Reportage.

**De Puerto Maldonado, envoyée spéciale***

*C'est une première au Pérou!* s'exclame Vladimir Ramirez. *Nous commençons à reboiser une forêt tropicale protégée en appliquant une nouvelle méthode scientifique.* » Tout enthousiaste soit-il, le directeur de la réserve nationale Tambopata reconnaît que le pari est un peu fou : « *Notre but est de restaurer, en trois ans,*

*30 hectares d'un sol détruit par l'orpaillage illégal, uniquement avec des espèces natives, dans un lieu de surcroît très difficile d'accès…* » Mais rien n'arrêtera les gardes forestiers de ladite réserve, située au sud-est du pays, dans le département de Madre de Dios, aux confins de la Bolivie et du Brésil. Une détermination qui a gagné

la communauté A8, cinquante familles d'anciens mineurs restées isolées dans la zone tampon entre la réserve et la route interocéanique reliant le Pacifique à l'Atlantique. *« La forêt est un bien commun de l'humanité!* clame avec conviction José C., jeune habitant de ce "village" champignon. *Avant j'étais orpailleur, aujourd'hui, j'améliore les pistes. Et demain, je veux restaurer! »*
Trop belle pour être vraie, cette déclaration? Pas sûr car, privée de travail depuis qu'il n'y a plus de mines sur son territoire, la communauté s'intéresse désormais à l'environnement. Et la réserve Tambopata est un endroit magique, où les touristes épris de nature viennent en bateau depuis la capitale du département, Puerto Maldonado. Car ce petit bout d'Amazonie péruvienne héberge une biodiversité unique au monde : pas moins de 1847 espèces de plantes, 755 d'oiseaux et 259 de poissons. Hélas, elle abrite aussi quantité de mines illégales.

## Un désert troué de 30 000 étangs pollués au mercure

Depuis le milieu des années 2000, le Madre de Dios connaît une véritable ruée vers l'or, depuis les Andes voisines où le travail manque. L'envolée du cours du précieux métal (+ 500 % entre 2000 et 2013) et la construction de la route interocéanique attirent ces orpailleurs. Sous la coupe de barons mafieux, ils créent une ville clandestine, véritable zone de non-droit, La Pampa, à une centaine de kilomètres de Puerto Maldonado. Même la police n'ose y pénétrer. Si certains mineurs tentent leur chance en raclant le fond des rivières, la plupart ravagent la forêt à grand renfort de pelleteuses, creusant de gigantesques excavations d'où ils extraient l'or à l'aide de mercure. *« Ils ont détruit la bagatelle de 100 000 hectares de forêts depuis 1985 »*, regrette Hauke Hoops, directeur de l'antenne péruvienne de la Frankfurt Zoological Society (FZS), une ONG allemande qui contribue à la préservation des espèces dans les aires naturelles protégées. Il ajoute : *« Après avoir envahi la zone tampon, les mineurs ont fini par pénétrer carrément dans la réserve en 2015 : ils y ont saccagé 759 hectares de forêt primaire. »*
Après leur passage, tout ●●●

**L'orpaillage illégal a détruit près de 100 000 hectares** de forêt dans la région de Madre de Dios, au sud-est du Pérou. Les chercheurs d'or ont laissé derrière eux un long cordon de sols vidés de matière organique et troués d'une multitude d'étangs pollués au mercure (à gauche).

**Richard Huaman,** employé de la pépinière expérimentale créée par le centre de recherche Cincia, présente un plant d'amasisa (*Erythrina ulei*). C'est l'une des douze essences natives cultivées ici, qui servira ensuite à reboiser la réserve nationale Tambopata.

●●● n'est que désolation. *« Ils ont transformé la forêt en un véritable désert troué de 30 000 étangs pollués au mercure. Une menace pour la biodiversité, car les insectes et les oiseaux viennent s'y abreuver »,* déplore Luis Fernandez. Le directeur exécutif de Cincia, centre de l'innovation scientifique en Amazonie créé en 2016, à Puerto Maldonado, par l'université de Wake Forest (États-Unis), rappelle que cette déforestation massive laisse *« les sols complètement lessivés par les pluies tropicales. Ils se retrouvent dépourvus de tout nutriment, à tel point qu'ils n'arrivent même pas à fixer le mercure ».*

## 300 militaires et 1 200 policiers pour chasser les mineurs illégaux

Comment arrêter le massacre et restaurer la magnifique forêt tropicale, poumon vert du pays ? C'est à ce défi que se sont attaqués d'un côté les ministères de la Défense et de l'Environnement péruvien, avec le Service national des espaces naturels protégés (Sernanp) et la FZS, de l'autre un département de Cincia. Les opérations se sont déroulées en plusieurs phases. Première étape : l'éradication des mines. Après s'être contenté de quelques interventions sans lendemain, le gouvernement péruvien a décidé d'employer les grands moyens. En 2017, la marine – au Pérou, c'est elle qui protège les rivières – et le Sernanp parviennent à bouter les mineurs hors de la réserve, à partir de deux postes de surveillance renforcés avec l'aide financière de la FZS : le point Azul et Orotongo. Puis, en février 2019, le gouvernement déclenche l'opération Mercurio : 300 militaires et 1 200 policiers sont dépêchés à La Pampa pour chasser les mineurs illégaux de la zone tampon. La ville, qui comptait près de 30 000 habitants, n'en dénombre plus que 2 000. *« Heureusement, le gouvernement a laissé cette fois des forces sur place. C'est indispensable si l'on veut éviter que les mineurs reviennent »,* souligne Hauke Hoops.

En parallèle, l'université Wake Forest a demandé à Cincia d'élaborer une méthode pour restaurer les sols appauvris par l'extraction minière dans la région et les reboiser de manière pérenne. Les travaux expérimentaux ont commencé dès 2016, avec l'aide financière du WWF (World Wildlife Fund) puis de l'agence américaine USAID. *« Après avoir fait pousser différentes espèces dans une pépinière forestière, nous les testons sur une aire expérimentale de 42 hectares répartis sur 19 sites différents,* explique France Cabanillas, coordinateur du programme de restauration de Cincia. *Car ici, tous les sols ne sont pas dégradés de la même manière. Et les objectifs de reforestation ne sont pas tous identiques : les rangers de la réserve protègent les espèces natives quand les sylviculteurs s'intéressent aux essences commercialisables et les agriculteurs aux arbres fruitiers. »* La méthode développée par les chercheurs est suffisamment générique pour s'adapter à ces différents objectifs : étude de la dégradation de l'écosystème à l'aide de drones et de prélèvements, plan de la restauration, suivi pendant trois ans de la repousse. Le tout pour un coût de 2800 dollars par hectare. L'un des points forts du pro-

**Les 30 000 pousses cultivées** dans la pépinière de Cincia (en haut à gauche) sont acheminées en motocars vers la zone de reforestation de la réserve Tambopata. Militaires et rangers progressent difficilement dans la forêt, sur une piste sablonneuse chaotique parsemée de ponts sommaires (au milieu). La cargaison est ensuite transportée sur une pirogue afin de franchir le rio Malinowski (en bas). Un parcours semé d'embûches (à droite) qui oblige parfois à tout décharger.

cédé consiste à enrichir le sol avec du biocharbon, ou biochar, au moment où les jeunes pousses élevées en pépinière sont transplantés à leur emplacement définitif. Un amendement tout ce qu'il y a d'écologique et d'économique, produit à partir de biomasse : il consiste ici à faire chauffer dans des fûts, à 350°, des coques de noix du Brésil, très abondantes dans la région. En deux heures, la pyrolise de 40 kg de biomasse produit 15 kg de biochar.

En 2018, un accord a été signé entre les responsables de la réserve Tambopata, le Sernanp et Cincia. Objectif : tester cette méthode pour reboiser une parcelle d'arbres protégés. Il faut alors sélectionner uniquement des espèces natives, ce qui en limite le nombre : « *En 2018, nous avons conduit avec Cincia une expérience pilote sur une parcelle de 5 hectares, où nous avons testé quatorze espèces natives ; deux sont mortes au bout d'un an. Nous n'en avons donc retenu que douze pour la phase opérationnelle* », explique Vladimir Ramirez. Il faut aussi renoncer au bio-charbon au profit d'engrais plus classiques. En effet, le dosage optimal est de 1 kg de biochar par plant ; il aurait donc fallu en acheminer 30 tonnes pour les 30 000 plants (dont 20 000 fournis par la pépinière de Cincia) nécessaires au reboisement des 30 hectares de la réserve. Impossible, vu les conditions de transport dans la zone tampon.

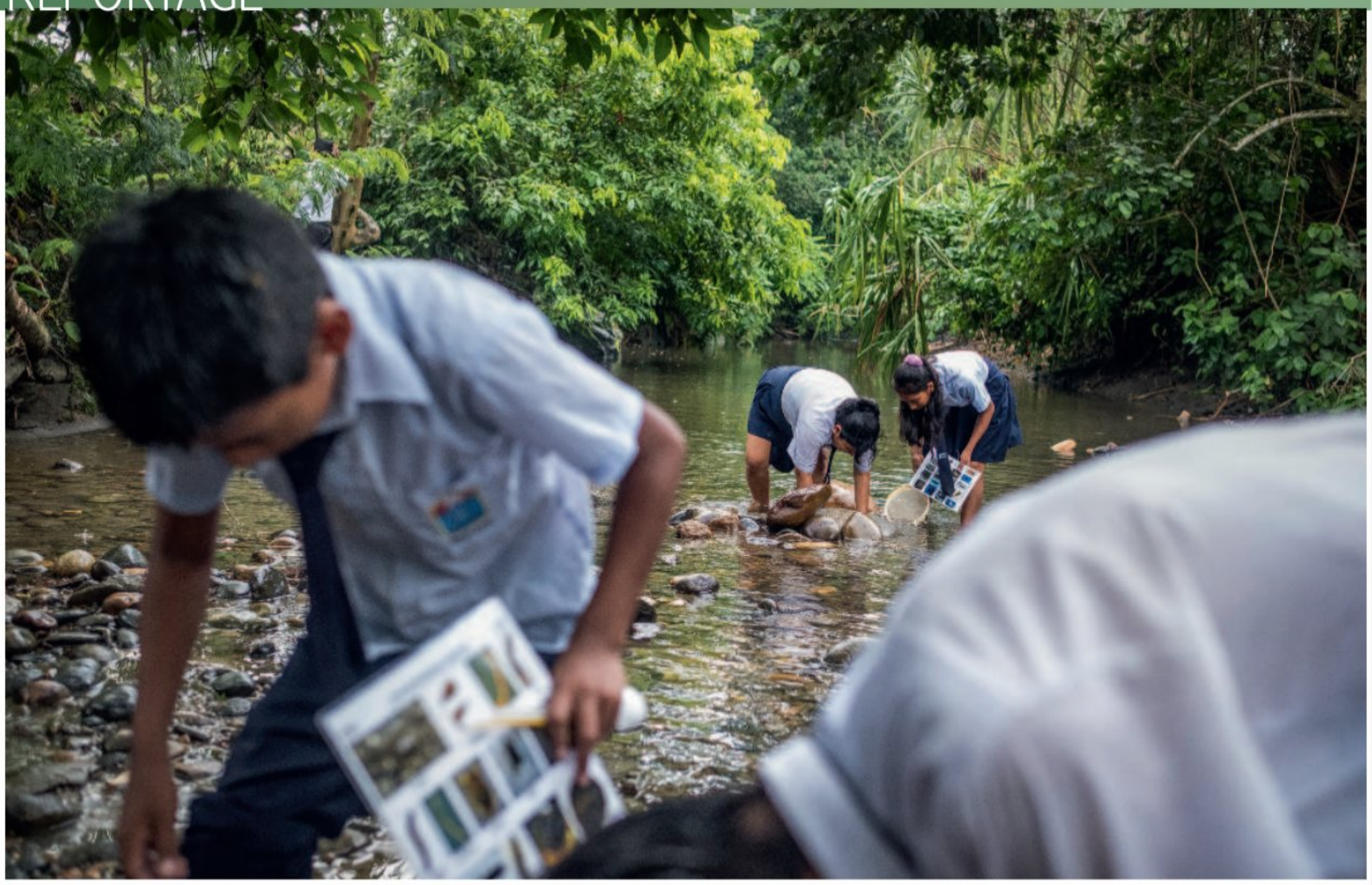
**« Les objectifs de reforestation ne sont pas les mêmes pour les sylviculteurs, les agriculteurs et les rangers »**

**France Cabanillas,** coordinateur du programme de Cincia

Le chemin de la reforestation n'est en effet pas de tout repos ! Des pépinières jusqu'au kilomètre 98 de la route interocéanique, une camionnette classique fait l'affaire. Mais ensuite, il faut charger les plants sur le plateau arrière de motocars tout-terrain, capables de progresser sur une piste peu marquée, tour à tour sableuse, empierrée ou gorgée d'eau, et barrée de ponts en bois incertains. Une fois parvenue sur la rive du rio Malinowski, frontière entre la zone tampon et la réserve, la précieuse cargaison doit être embarquée sur des pirogues au moteur parfois récalcitrant, puis débarquée sur d'autres motocars qui rejoindront, enfin, l'aire de 30 hectares concernée par le reboisement. « *Heureusement que la piste – une ancienne voie tracée à la hache dans la forêt par les mineurs – a été améliorée, notamment par des habitants de A8, grâce aux fonds de la FZS* », souligne Hauke Hoops. Sans ce préalable, l'opération de restauration n'aurait jamais pu commencer… Car si tout le monde se montre prêt à retrousser les manches, le manque d'argent ou les coupes budgétaires soudaines du ministère de l'Environnement, qui finance l'opération Tambopata, se font parfois cruellement ressentir.

## Alterner espèces pionnières et essences de croissance lente

Les 30 000 jeunes arbres ont néanmoins été livrés et plantés en décembre dernier, non loin du point Azul. Et le chercheur France Cabanillas croise les doigts. Maintenant que le reboisement est passé en phase opérationnelle, son bébé lui échappe un peu. Il espère que les ouvriers, plus ou moins formés à la restauration, ont bien disposé les plants selon le modèle ANP (aire naturelle protégée) prescrit par Cincia. Ledit modèle consiste à espacer les plants de trois mètres et à alterner des lignes de cou- ●●●



●●● verture, composées d'espèces pionnières qui poussent vite (quatre à cinq ans) comme le pashaco (*Schizolobium amazonicum*), et des lignes de diversité constituées d'espèces plus lentes, dites secondaires, comme le shihuahuaco (*Inga sp*) ou le kapokier (*Ceiba pentandra*). L'objectif est que ces dernières, qui croissent en 50 ans ou plus, puissent se développer à l'ombre des pionnières.

## Un pari sur l'avenir, célébré en grande pompe par le Président

Car le soleil est ici l'ennemi des jeunes pousses : la température peut s'élever jusqu'à 50 °C à la saison sèche. Dans les forêts tropicales, les arbres grandissent généralement à l'abri de la canopée. Pour repeupler des terres déforestées, la solution consiste à sélectionner des espèces capables de supporter un rayonnement agressif. Et à les planter durant la saison des pluies, de novembre à avril : le taux de mortalité y est bien plus faible, 6 %, quand il peut atteindre 40 % à la saison sèche.

Mais le soleil n'est pas le seul problème : les plants doivent aussi s'enraciner dans un sol dégradé sur parfois deux mètres de profondeur. C'est pourquoi, en pépinière, Cincia fait pousser les semis dans de longs tubes en plastique qui orientent les racines vers le bas. À Tambopata, bioengrais et humus remplacent le biocharbon pour enrichir la terre en matière organique. Il faut alors surveiller la pousse pendant un à deux ans, et faire des prélèvements biologiques dans les sols (matière organique, texture, acidité) pour contrôler la qualité de la restauration, si l'on veut que les espèces secondaires se développent. Car, parfois, *« les espèces pionnières poussent trop vite pour que le sol s'améliore »*, observe France Cabanillas. Pour lui, passer de la phase expérimentale sur un site pilote à cette phase opérationnelle reste un pari sur l'avenir.

**Des collégiens** participent à un programme de prévention contre la pollution de l'eau et des poissons par le mercure, organisé par Cincia. Certains sont des enfants d'orpailleurs illégaux.

**« Restaurer Tambopata avec les ex-mineurs servirait de modèle à toute la région »**
**Vladimir Ramirez,** directeur de la réserve Tambopata

Un pari célébré en grande pompe le 5 décembre dernier. Ce jour-là, tous les Péruviens ont tourné les yeux vers ce bout de terre perdu : le Président Martín Vizcarra et la ministre de l'Environnement Fabiola Muñoz y ont planté le premier arbre, symbole d'espoir. *« Reforestation! »* Les habitants de A8 n'ont que ce mot à la bouche : *« Vous nous avez enlevé du travail en détruisant La Pampa. Donnez-nous en avec la forêt! »* Vladimir Ramirez s'en réjouit : *« La restauration totale de Tambopata avec les ex-mineurs de A8 pourrait servir de modèle à toute la région. »* Encore faudra-t-il que l'État engage les moyens nécessaires, et que l'opération Tambopata soit couronnée de succès. Rendez-vous dans trois ans ! ■ **TEXTE : MARIE-LAURE THÉODULE**
**PHOTOS : OLIVIER DONNARS**

*Pour ce reportage, Marie-Laure Théodule et Olivier Donnars ont bénéficié de la bourse EJC (European Journalism Center) de la Fondation Bill et Melinda Gates.

Interview

**PLINIO SIST**

Écologue spécialiste des forêts tropicales humides, directeur de l'unité de recherche Forêts et Sociétés du Cirad

# « En Indonésie, on a déboisé des forêts naturelles pour faire du contreplaqué ! »

Recherche de terres agricoles, plantations industrielles : la déforestation explose. Pourtant, dans les années 2000, le Brésil avait réussi à la contrer de façon spectaculaire.

**Où en est la déforestation dans le monde ?**

Elle s'accélère dramatiquement depuis 2016. Sur la période 2010-2018, la perte de surface forestière a ainsi augmenté de 25 % par rapport à la décennie précédente. Au Brésil, où elle avait chuté de 80 % entre 2004 et 2012, la déforestation avait alors connu un véritable coup de frein. Mais l'année dernière, un triste record a été établi en Amazonie, en partie à cause des incendies de l'été : près d'un million d'hectares détruits. Et dans le bassin du Congo, longtemps épargné par la déforestation massive, la perte de forêt naturelle a plus que doublé, pour atteindre 460 500 hectares en moyenne par an entre 2010 et 2018.

**Pourquoi déforeste-t-on ?**

Depuis près de trente ans, 5 millions d'hectares de forêts sont perdus chaque année, principalement en raison de leur conversion en terres agricoles ou en plantations industrielles. L'essentiel de cette déforestation se produit en région tropicale. Pâturages en Amazonie, plantations de cacaoyers en Côte-d'Ivoire ou de palmiers à huile en Indonésie et Malaisie… Mais elle n'est pas seulement le fait des grands propriétaires ou de l'agro-industrie. En Afrique, par exemple, les petits paysans ont eux aussi besoin de terres. En cause également : la surexploitation du bois. Avec les cycles de coupe et d'exploitation actuels, la capacité de régénération de la forêt amazonienne n'est pas suffisante pour reconstituer les stocks. En Indonésie, on a même déboisé des forêts naturelles pour faire du contreplaqué !

PLINIO SIST

**La mondialisation des échanges a-t-elle sa part de responsabilité ?**

Combattre la déforestation impose de sortir de notre système de production et de consommation ainsi que de notre modèle de croissance, d'opter pour des objectifs environnementaux plutôt qu'économiques, de changer d'indicateurs pour tenir compte de l'impact de la dégradation des milieux naturels sur notre qualité de vie. La volonté politique est fondamentale : on l'a vu au Brésil où, pendant huit ans, le gouvernement avait réussi à freiner la déforestation de manière spectaculaire, en se dotant de moyens de contrôle (surveillance satellitaire) et de répression (amendes aux contrevenants à la loi). Mais avec le président Bolsonaro, on est revenu à une vision du développement datant des années 1970…

**Peut-on craindre une disparition des forêts ?**

Je ne suis pas très optimiste. Cela fait trente ans que j'observe la disparition et la dégradation des forêts tropicales, trente ans que je défends une gestion durable et que j'entends de beaux discours de responsables politiques… J'avais l'espoir que le Brésil montrerait la voie, mais notre cycle politique ne va pas dans le bon sens : les élections portent au pouvoir des dirigeants extrémistes qui prennent des décisions désastreuses. Les investissements consacrés à la protection des forêts tropicales ne sont hélas pas à la hauteur des enjeux. L'exemple du Bonn Challenge est parlant : lancé en 2011, son objectif est la restauration de 350 millions d'hectares de terres dégradées d'ici 2030. Plus de 60 pays se sont engagés. Mais, faute d'argent, peu d'actions ont été entreprises.

**Que faudrait-il faire pour enrayer ce processus ?**

Si l'on considère les forêts comme un bien public mondial, il est urgent de se donner les moyens de nos ambitions, urgent d'agir pour les forêts au nom d'une « mondialisation environnementale ». Il faut à la fois préserver les dernières forêts tropicales et initier des programmes ambitieux de restauration forestière afin d'inverser le processus de dégradation des sols… C'est-à-dire passer progressivement d'une agriculture extensive, gourmande en espace et en facteurs de production, à une agriculture intensive basée sur des pratiques agro-écologiques, grâce à laquelle les habitants des zones concernées n'auront plus besoin d'empiéter encore et encore sur la forêt. Cela ne peut réussir qu'à l'échelle d'un territoire et en concertation avec la population locale. Il faut former les agriculteurs, leur demander de renoncer à des pratiques ancestrales : c'est un vrai changement de paradigme.

**PROPOS RECUEILLIS PAR ÉLIANE PATRIARCA**

Fini, la ruée des laboratoires pharmaceutiques sur les molécules naturelles des forêts tropicales ! Aujourd'hui, les ethnopharmacologues s'attachent à mettre au point des formulations plus efficaces des remèdes locaux.

# Pharmacopée : quand la science valide les plantes

Vues du ciel, les forêts ne sont qu'une gigantesque collection d'arbres. Mais sous la canopée, un autre paysage se dessine, constitué d'un réseau complexe de plantes, d'animaux, de champignons et de bactéries. D'après l'ONG WWF, les forêts renfermeraient plus de 80 % de la biodiversité terrestre mondiale, avec notamment plus de mille espèces au kilomètre carré en Amazonie, dans le bassin du Congo ou en Indonésie. Une densité – et une variété – inédite hors des forêts tropicales humides. *« C'est justement parce qu'elles sont de véritables hotspots de biodiversité que la probabilité est élevée d'y trouver un grand nombre de plantes contenant des molécules possédant des propriétés utiles contre telle ou telle maladie,* explique Mohamed Haddad, responsable de l'équipe Pharmacognosie, ethnopharmacologie et pathologies du Sud à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'université Paul-Sabatier Toulouse III. *Ces molécules ne sont généralement pas synthétisées par le métabolisme primaire, qui concerne les réactions liées à la survie du végétal comme la croissance, le développement ou la reproduction, mais par le métabolisme secondaire, dont dépendent notamment les réactions de défense. Les plantes et les arbres sont immobiles : ils doivent secréter des substances, toxiques quant il s'agit de repousser les prédateurs, attractives pour attirer des insectes pollinisateurs – et ce sont souvent de telles molécules qui ont un intérêt pharmacologique. »*

FRANÇOIS CHASSAGNE

**Tests de plantes médicinales** contre des bactéries. L'expérimentation est réalisée sous une hotte, afin d'éviter la dispersion des micro-organismes dans l'environnement.

Il y a encore quelques décennies, la bioprospection – l'inventaire et l'évaluation des éléments d'un écosystème en vue de produire un médicament – avait tout d'une activité laborieuse et hasardeuse. *« Les scientifiques récoltaient des échantillons de presque tous les végétaux qu'ils rencontraient, en tiraient des extraits et testaient ceux-ci en laboratoire,* in vitro, *pour évaluer leur efficacité sur différentes pathologies. C'était très long ! »*, raconte le chercheur. À partir des années 1990, l'arrivée des techniques de criblage à haut débit change la donne : en un temps record, celles-ci permettent d'identifier, parmi des milliers de molécules naturelles, celles qui possèdent des propriétés pharmacologiques potentiellement intéressantes. Plusieurs institutions se ruent alors sur les forêts tropicales. C'est le cas du National Cancer Institute, aux États-Unis, qui relance des campagnes dans presque tous les écosystèmes de la planète – son précédent programme de bioprospection, mené entre 1955 et 1980 et qui avait testé l'activité anti-cancer de 200 000 extraits, avait été interrompu faute de résultats probants. En France, le laboratoire pharmaceutique Pierre Fabre évalue lui aussi des dizaines de milliers d'échantillons.

## La quinine, extraite d'un arbuste des forêts andines

Pour ne pas se perdre dans le dédale des quelque 380 000 espèces de végétaux présents sur Terre, les chercheurs misent aussi sur d'autres approches : la chimiotaxonomie ou encore l'ethnopharmacologie. La première est l'étude des rapports entre le classement des végétaux (taxonomie) et leur composition (chimie). En d'autres termes, lorsque des molécules aux propriétés actives intéressantes ont été identifiées chez une plante donnée, les scientifiques partent à la recherche de plantes proches de celles-ci en termes phylogénétiques, par exemple de la même famille ou du même genre : celles-ci pourraient contenir les mêmes substances d'intérêt, mais moins toxiques ou plus efficaces. De son côté, l'ethnopharmacologie concerne l'étude scientifique interdisciplinaire de l'ensemble des matières d'origine végétale, animale ou minérale – et des

FRANÇOIS CHASSAGNE

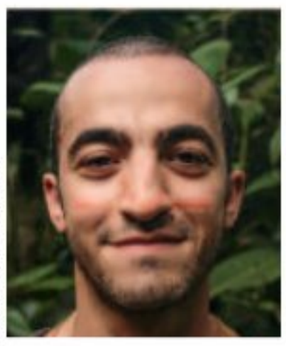
savoirs ou des pratiques qui s'y rattachent – mises en œuvre par les cultures traditionnelles à des fins curatives, préventives ou diagnostiques.

Les campagnes menées jusque-là au cœur des forêts tropicales ont permis de découvrir des molécules désormais incontournables. Décrite en 1861, la fève de Calabar (*Physostigma venenosum*), graine toxique d'une liane originaire des forêts d'Afrique tropicale, contient de la physostigmine. Un alcaloïde puissant longtemps utilisé pour le traitement du glaucome, ainsi que dans les cas de myasthénie, une atteinte neuromusculaire auto-immune, ou pour les anesthésies – mais qui n'est plus commercialisé aujourd'hui. Le *Chondrodendron tomentosum*, une plante grimpante d'Amérique du Sud, renferme de la tubocurarine : cette substance, dont certaines populations amérindiennes enduisent la pointe de leurs flèches, a autrefois été administrée comme myorelaxant lors d'anesthésies. La pervenche de Madagascar (*Catharanthus roseus*), endémique de l'île mais qui pousse très bien dans les régions tropicales et subtropicales, contient de la vincristine et de la vinblastine, molécules entrant dans la composition de certaines chimiothérapies. Quant à la célèbre quinine, première molécule permettant de traiter les fièvres paludiques, elle provient de l'écorce du quinquina (*Cinchona*), un arbuste originaire des forêts andines.

## Contre la fièvre, la diarrhée, les troubles liés à l'accouchement…

*« Les premiers médicaments étaient tous naturels, qu'ils soient d'origine végétale, animale ou minérale. Ces pharmacopées traditionnelles continuent d'exister partout, chez nous comme en Amazonie »,* rappelle Geneviève Bourdy, chargée de recherches à l'IRD. Comme elle, les ethnobotanistes travaillent étroitement avec les communautés autochtones, en concentrant leurs recherches sur les plantes utilisées pour leurs effets médicinaux. L'objectif ? Valider scientifiquement ces usages traditionnels en testant en laboratoire l'action de ces végétaux sur les troubles contre lesquels ils sont prescrits. En 2013 et 2014, François Chassagne, postdoctorant à l'université Emory (États-Unis), a ainsi inventorié la pharmacopée de l'ethnie Bunong, au nord-est du Cambodge. Résultat : pas moins de 214 plantes appartenant à 72 familles différentes, un champignon, ainsi que 22 espèces animales étaient alors utilisés par cette communauté pour traiter une cinquantaine de symptômes, principalement la fièvre, la diarrhée, les troubles consécutifs à l'accouchement et les maux d'estomac. *« Les populations autochtones dépendent étroitement de ces remèdes naturels pour prendre soin de leur santé au quotidien,* souligne le scientifique. *Des études ont déjà confirmé l'efficacité de la plupart des espèces utilisées contre les affections les plus fréquentes. En revanche, une dizaine d'autres n'ont pas encore été décrites comme plantes médicinales ; il sera intéressant* ●●●

**Dans la capitale du Cambodge,** Phnom Penh, les plantes médicinales sont en vente libre au marché.



IRD, MICHEL SAUVIN

**« Les laboratoires pharmaceutiques ont plus ou moins arrêté la course aux molécules naturelles »**

**Mohamed Haddad,** chargé de recherche à l'IRD

## Les arbres qui soignent

LEEMAGE

### MARRONNIER D'INDE
*Æsculum hippocastanum*

**PRINCIPES ACTIFS ET USAGES :**
L'écorce et les graines, appelées marrons, contiennent de l'æscine et de l'æsculoside, substances possédant un effet vasoconstricteur sur les parois des veines et des petits vaisseaux sanguins.

**ÉTUDES :** Une vingtaine d'études, portant sur des milliers de patients, ont montré une réduction des symptômes de l'insuffisance veineuse, comme les jambes lourdes et douloureuses, leurs démangeaisons ou leur gonflement, les crampes nocturnes des mollets, etc. En revanche, l'efficacité de l'extrait de marron d'Inde dans le traitement des hémorroïdes n'est pas attestée par un nombre suffisant d'études.

LEEMAGE

### IF DU PACIFIQUE ET IF COMMUN
*Taxus brevifolia* et *Taxus baccata*

**PRINCIPES ACTIFS ET USAGES :**
Les aiguilles d'If du Pacifique, présent de l'Alaska à la Californie, contiennent du paclitaxel, une molécule utilisée en chimiothérapie.

**ÉTUDES :** Depuis la découverte des propriétés anti-cancéreuses dans l'écorce d'if du Pacifique en 1970, puis dans les aiguilles de l'if commun (*Taxus baccata*), il a été démontré que cette substance empêchait la progression de la division cellulaire – et par-là même la multiplication des cellules, qui pose problème lorsque celles-ci sont cancéreuses. De nombreuses études ont validé son efficacité en cas de cancer du sein, de l'ovaire, des poumons, ou encore du sarcome de Kaposi.

WIKIPEDIA

### SANG DU DRAGON
*Croton lechleri*

**PRINCIPES ACTIFS ET USAGES :**
Le latex produit par cet arbre natif des forêts sud-américaines contient de la taspine, aux propriétés cicatrisantes, et du crofelemer, substance active contre les diarrhées des patients atteints du sida.

**ÉTUDES :** Utilisé par les communautés sud-amérindiennes en tant que bandage liquide, le latex, surnommé sang-dragon, a été examiné à la loupe par de nombreuses études qui ont démontré, d'une part, que la taspine accélère effectivement le processus de réparation des plaies, d'autre part, que le crofelemer inhibe les canaux ioniques à ions chlorure dans l'intestin, aboutissant à une moindre sécrétion de sodium et d'eau, ce qui améliore la consistance des selles.

●●● *de les étudier. »* Parmi celles-ci, *Millettia penduliformis*, utilisée contre la toux, *Lagerstroemia cochinchinensis*, prescrite contre les maux de ventre et diarrhées, ou encore *Dalbergia stipulacea*, contre les douleurs de dos. Dans ce pays, le chercheur s'est également penché sur les remèdes associés aux maladies du foie en interrogeant plus d'une trentaine de guérisseurs khmers. *« Fait étonnant : bien que les plantes médicinales restent au cœur de leur pratique, ils ont recours à des techniques nouvelles de diagnostic, comme la lecture d'analyses biomédicales. Cela pourrait ouvrir la porte à une meilleure intégration de ces "néoguérisseurs" dans les programmes de santé nationaux »*, analyse François Chassagne. À leurs côtés, il a recensé une quarantaine de remèdes, incluant environ 80 plantes médicinales, communément préparés contre les maladies du foie. Là encore, une plante pourtant largement utilisée, *Willughbeia edulis*, s'est révélée être très peu étudiée. *« C'est un bon exemple de tout ce qu'il reste à faire en matière de recherches, notamment pour inventorier ces savoirs séculaires,* poursuit le scientifique. *Un rapport, publié en 2017 par les Kew Botanic Gardens, comptabilise 380 000 espèces de plantes, parmi lesquelles 28 187 seraient utilisées en médecine traditionnelle. Seules 4 478 d'entre elles apparaissent dans les pharmacopées nationales ! De même, le rapport ne recense que 38 plantes à partir desquelles des médicaments ont été obtenus. Personnellement, j'en ai compté un peu plus de 50 rien que dans la base de données de la Food and Drug Administration américaine. Le potentiel de recherches de nouvelles molécules reste important. »*

### Bioprospection ou biopiraterie, la limite est parfois ténue

Geneviève Bourdy et ses collègues l'ont confirmé en travaillant sur *Quassia amara*, une plante utilisée comme antipaludique de l'Amérique centrale jusqu'en Amazonie péruvienne, en passant par l'arc antillais. *« En 2003, notre équipe a mené en Guyane une enquête épidémiologique sur les pratiques thérapeutiques et préventives des différentes communautés. Toutes ont confirmé l'utilisation de* Quassia amara *dans les cas de paludisme. »* Les remèdes ont ensuite été refabriqués en laboratoire et

CLAUDINE CAMPA / IRD

**Culture *in vitro* de pervenche de Madagascar.** Cette plante contient de la vincristine et de la vinblastine, utilisées pour certaines chimiothérapies.

CURTIS BOTANICAL MAGAZINE 1804

## ARBRE AUX SERPENTS

*Rauwolfia serpentina*

**PRINCIPES ACTIFS ET USAGES :**
Cette plante herbacée des forêts tropicales d'Inde et du Sud-Est asiatique est utilisée localement contre les morsures de serpent et comme antihypertenseur.

**ÉTUDES :** La réserpine, substance tirée de *Rauwolfia serpentina*, diminue la quantité de certains neurotransmetteurs tels que la norepinéphrine, la dopamine et la sérotonine dans certaines synapses (zones de contact entre neurones). En 2016, une méta-analyse a confirmé sa capacité à réduire la pression systolique cardiaque. Mais le nombre restreint d'études de qualité interdit de se prononcer sur la dose à laquelle son innocuité est assurée – empêchant de conclure sur son éventuelle toxicité.

LEEMAGE

## SCOPOLIE DE CARNIOLE

*Scopolia carniolica*

**PRINCIPES ACTIFS ET USAGES :**
Cette plante des forêts d'Europe a des propriétés anti-nauséeuses grâce à la scopolamine, un alcaloïde aux effets proches de l'atropine.

**ÉTUDES :** La scopolamine est la substance active de plusieurs médicaments commercialisés. Son efficacité pour prévenir le mal des transports, liée à sa capacité à réduire la motricité intestinale, a été validée en 2011 par une revue de 14 études sur le sujet. Une autre revue a montré que cette substance permettait de réduire nausées et vomissements chez les femmes bénéficiant d'une anesthésie locale pour césarienne.

SHUTTERSTOCK

## ARBRE DE VIE

*Camptotheca acuminata*

**PRINCIPES ACTIFS ET USAGES :**
L'écorce et les bourgeons de cet arbre originaire de Chine, appelé localement « l'arbre du bonheur », contiennent de la camptothécine, une substance aux propriétés anticancéreuses.

**ÉTUDES :** La camptothécine est un inhibiteur de topoisomérases, des enzymes contrôlant les changements dans la structure de l'ADN au cours du cycle cellulaire, et conduit à la mort des cellules. Des études ont montré qu'elle pouvait efficacement cibler le cycle des cellules cancéreuses, mais attaquait aussi d'autres cellules comme les globules blancs, avec des effets délétères. Des dérivés de cet alcaloïde, trop toxique pour être utilisé tel quel, ont été synthétisés et sont aujourd'hui utilisés contre le cancer.

testés afin de confirmer leur efficacité contre les plasmodiums, les parasites responsables du paludisme. Par ailleurs, les chercheurs ont isolé une molécule déjà connue, Simalikalactone D (SkD), responsable de l'effet antipaludique de la plante. En 2007-2008, ils ont découvert Simalikalactone E (SkE), elle aussi très active contre les parasites. « *Une surprise !* rappelle Geneviève Bourdy. *Lorsque nous avons commencé à travailler sur* Quassia amara, *nous pensions que tout avait déjà été découvert sur les substances responsables de son effet antipaludique.* » L'IRD, duquel dépendent les chercheurs travaillant sur SkE, a déposé deux brevets, l'un en 2009 pour protéger l'utilisation de cette molécule pour le traitement du paludisme, l'autre en 2011 pour son utilisation pour le traitement du cancer. Des brevets non encore exploités, car des études doivent être menées pour évaluer la possibilité de développer un médicament à partir de la molécule.

De telles collaborations entre scientifiques et populations autochtones sont aujourd'hui très encadrées par le protocole de Nagoya. Celui-ci, entré en vigueur en 2014, vise à assurer un partage équitable des avantages qui pourraient découler de ces savoirs traditionnels, par exemple la mise au point d'un médicament dont la manne financière se devrait d'être partagée. La limite entre bioprospection et biopiraterie est parfois ténue. Une association a, par exemple, dénoncé les brevets déposés par l'IRD, estimant qu'ils lésaient les parties prenantes guyanaises. En 2018, l'Office européen des brevets a cependant confirmé leur validité.

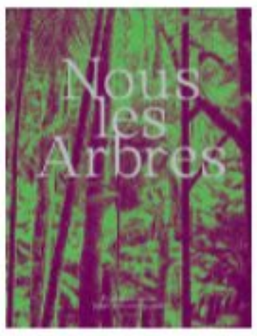
La forêt sera-t-elle l'avenir de nos médicaments ? « *On ne découvre en réalité plus grand-chose de nouveau depuis des années, et les laboratoires ont plus ou moins arrêté la course aux molécules naturelles* », concède Mohamed Haddad. L'idée qui se généralise aujourd'hui n'est pas tant de développer des médicaments pour les pays occidentaux que de valoriser les remèdes existant déjà dans les pharmacopées traditionnelles : les chercheurs parlent de « *médecine traditionnelle améliorée* ». L'enjeu ? Mettre au point des remèdes efficaces, correctement formulés et conditionnés sous des formes acceptées par les populations locales, comme des tisanes ou des poudres… loin des gélules à l'occidentale. ■ **ALICE BOMBOY**

Page réalisée par Sara de Lacerda

JOSECA / FONDATION CARTIER

**Dessin de Joseca,** artiste yanomami, réalisé pour l'exposition *Nous les arbres*, 2019.

# Matière vivante



Quel regard posons-nous sur les arbres ? Quels moyens avons-nous de les connaître ? Le catalogue de l'exposition organisée en 2019 par la Fondation Cartier fait la part belle à la réflexion, avec des contributions à la fois théoriques et poétiques témoignant de l'expérience intime d'intellectuels contemporains (le philosophe Emanuele Coccia, le biologiste Stefano Mancuso, l'ethnologue Bruce Albert, le botaniste Francis Hallé…). La partie visuelle n'en est que plus précieuse, où l'on retient surtout les couleurs enflammées de l'artiste iranien Salim Karami, les dessins à l'encre des habitants du Gran Chaco au Paraguay, et les images réalisées par les Yanomami, peuple indigène d'Amazonie, pour nous donner à voir la beauté de leur forêt-monde. Une représentation rare qui nous fait entrevoir un peu de leur savoir.

**Nous les arbres,** Fondation Cartier pour l'art contemporain, 2019, 368 p.

## Penser au-delà de l'humain

**C'est en partageant pendant plusieurs années la vie des Indiens Runa en Amazonie équatorienne qu'Eduardo Kohn, anthropologue canadien, a pris conscience de la nécessité d'ouvrir son champ d'observation. Les anecdotes empruntées à la langue et aux expériences des Runa l'entraînent à repenser les interactions entre humains et non-humains, animaux, plantes, esprits, divinités, car la forêt, monde sauvage et enchanté, est peuplée d'innombrables habitants. Le titre de ce livre exigeant peut se lire comme une invitation à suivre le *runa puma*, l'homme-jaguar, pour arriver, comme lui, à porter son attention aux multiples formes vivantes avec lesquelles il entre infatigablement en contact. Et puisque toutes ces entités sauvages arrivent à communiquer en s'entremêlant, c'est une nouvelle question qui s'impose : si les forêts pensent, comment pouvons-nous « penser avec et comme les forêts » ?**

**Comment pensent les forêts,** Eduardo Kohn, Zones sensibles, 2017, 335 p.

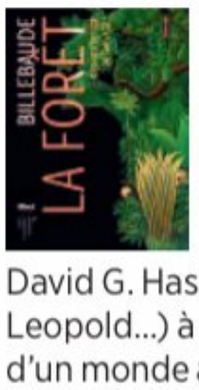
## EN BREF

### Vade-mecum forestier

Ce livre entend aborder tous les aspects de l'écosystème forestier : types de forêts, faune, flore, phénomènes saisonniers, formes d'exploitation. C'est un condensé complet des connaissances actuelles dont l'atout réside dans sa conception pédagogique : des explications qui vont à l'essentiel, enrichies de cartes, d'infographies et d'illustrations. Et la forêt du futur ? Bernard Fischesser, ingénieur agronome et forestier, note qu'elle échappe à notre représentation.

**La vie illustrée de la forêt,** Bernard Fischesser, Delachaux et Niestlé, 2018, 198 p.

### Miscellanées sylvestres



La revue semestrielle du musée de la Chasse et de la Nature invite des scientifiques (l'anthropologue Philippe Descola, le biologiste David G. Haskell, l'écologue Aldo Leopold…) à redessiner les contours d'un monde aussi familier qu'étrange. On y trouve des textes sur les mythes, les usages ancestraux, l'aménagement du territoire, de même que des points de vue originaux sur le rôle des prédateurs ou les friches. Autant de manières de nous dire que la forêt est avant tout réinvention.

**La forêt, refuge du sauvage ?,** *Billebaude*, n° 5, Glénat, 2014, 95 p.

### Il tombe des arbres

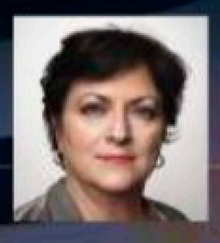
Ce très beau film tourné sur l'île de Bornéo est une élégie amère, un pudique cri de douleur. Trois paysages sonores se succèdent, la parole des villageois Penan alternant avec le chant continu de la forêt, avant le moteur des bulldozers. Ces machines qui peuplent les dessins des enfants sont les ennemies des Penan, dont l'habitat naturel est pillé par les « compagnies ». Mais que peuvent-ils faire sans les forêts originelles ? Car *« vivre avec la forêt, c'est rester vivant pour toujours »*.

**« Bé'Jam Bé et cela n'aura pas de fin »,** film de Cyprien Ponson et Caroline Parietti, Dawai Dawai, 2017

# ÉVÉNEMENT 2020
# EXPOSITION UNIVERSELLE DUBAI

**Sciences et Avenir vous convie à une croisière unique, à l'occasion de l'exposition universelle de 2020 à Dubai.**

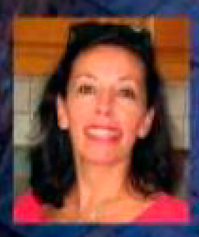
L'événement promet en effet d'être sans précédent, et pas seulement parce qu'il s'agit d'une première dans la région Moyen-Orient, Afrique, où 180 pays se retrouveront ainsi rassemblés. Son thème, qui appelle à **« Construire le futur »** est en parfaite résonance avec la ligne éditoriale de Sciences et Avenir. Il projette en effet dans l'avenir, avec toutes les interrogations majeures du présent : quelles sciences (climatologie, génétique, intelligence artificielle...) pour assurer une économie et une société durables ? Quelles nouvelles technologies pour la mobilité, entre avions, fusées mais aussi trottinettes ! Quelles opportunités nouvelles voyons-nous surgir ? Notre futur promet d'être, en effet, celui que nous voulons bâtir, fort de nos héritages, mais aussi en phase avec la modernité. Ici, l'invitation à « connecter les esprits ». Ces promesses d'avancées, nous les analyserons avec des scientifiques, des économistes, des spécialistes de géopolitique et de nouvelles technologies, de très haut niveau. Et ce, lors d'une croisière étonnante, faisant étape à Dubai et au Pavillon Français de l'Exposition Universelle, mais aussi à Abu Dhabi et son musée du Louvre, construit par l'architecte Jean Nouvel, ou encore en visitant la Rose des Sables, musée du Qatar à Doha... Des découvertes et des rencontres passionnantes en perspective.



**Dr Dominique LEGLU**
*Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir*

## AVEC VOUS À BORD !
## Les conférenciers

**Mikaa MERED**
Professeur de géopolitique, observateur et analyste des Emirats Arabes, spécialiste des pôles et de l'hydrogène.



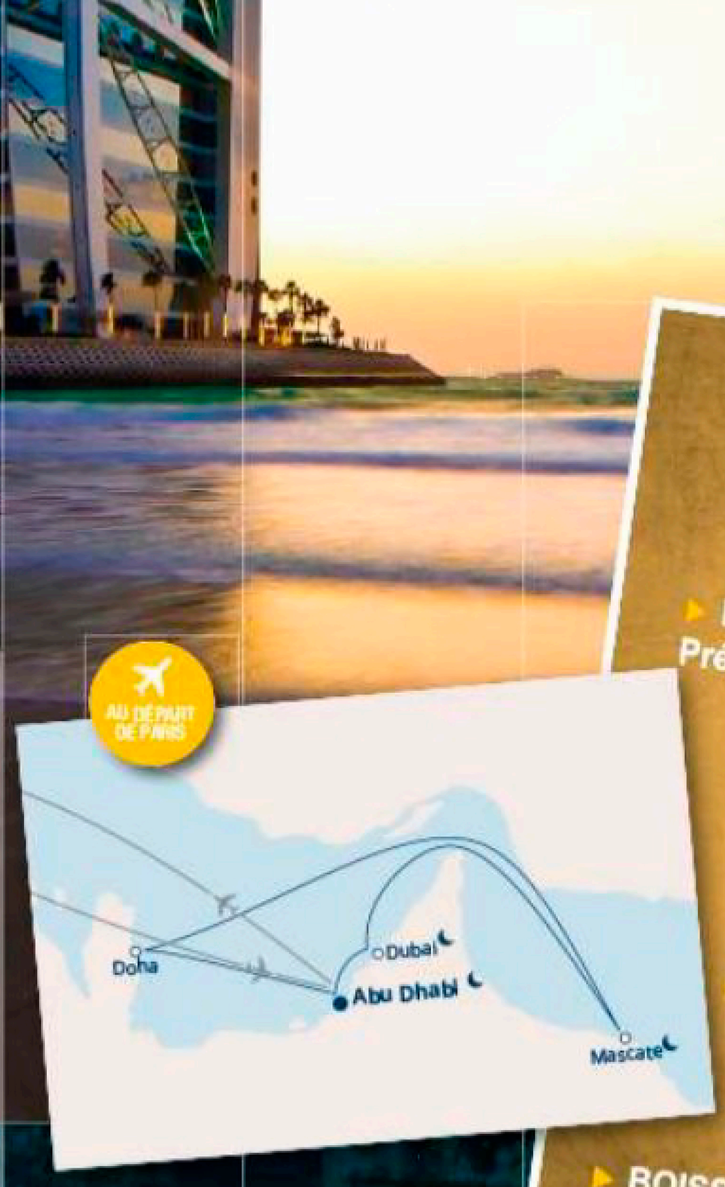
**Marie-Christine de WARENGHIEN**
Incontournable pour les architectours à Dubai & Abu Dhabi.

SCIENCES ET AVENIR

Challenges

## CROISIÈRE
# LA MAGIE DES EMIRATS

**10 JOURS / 7 NUITS**
**DU 12 AU 21 NOV. 2020**
**A BORD DU COSTA DIADEMA**




- 1 JOUR À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE DUBAI
- ENTRÉES FAST TRACK
- VISITE DU PAVILLON FRANÇAIS
  Conférence et cocktail dînatoire (sous réserve de confirmation)
- EXCLUSIVITÉ : L'ARCHITECTOURS À DUBAI ET ABU DHABI.
  Présence de votre spécialiste Marie-Christine de WARENGHIEN
- VISITE GUIDÉE MUSÉE DU LOUVRE ABU DHABI
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA MOSQUÉE D'ABU DHABI,
  assistez au coucher du soleil, illuminations le soir
- VISITE DU PALAIS PRÉSIDENTIEL À ABU DHABI
- VISITE DU MUSÉE LA ROSE DES VENTS À DOHA
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA BURJ EL KHALIFA
  LA TOUR LA PLUS HAUTE DU MONDE À DUBAI
- BOISSONS À TABLE INCLUSES ET FORFAIT SÉJOUR À BORD

...

**À PARTIR DE**
# 2 750 €/PERS.
**Au départ de Paris - En tout inclus**

**RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :**
**BLEU VOYAGES**
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
**TÉL. 04 72 76 75 66**
**www.challenges2020.fr**

Selectour Bleu Voyages Costa

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 € • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

**ENGIE récompense ceux qui consomment moins et vous donne le pouvoir d'agir.**

Découvrez notre nouveau programme sur

**monprogrammepouragir.fr***

**L'énergie est notre avenir, économisons-la !**

* « Mon programme pour agir » est un service gratuit réservé aux clients ENGIE ayant souscrit une offre de marché qui a pour objectif de valoriser les actions des consommateurs qui s'engagent en faveur de la transition énergétique. Grâce à leurs actions éco-responsables, ils peuvent cumuler des KiloActs et les utiliser pour accéder à des avantages et soutenir des projets.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images, Louise Carrasco.